Handbuch

der

Elektrotechnik

bearbeitet von

Professor Dr. **H. Ebert**, München. — Ingenieur **H. Eisler**, Wien. — Oberingenieur **V. Engelhardt**, Charlottenburg. — Kgl. Bayr. Obermaschineninspektor Dr. **B. Gleichmann**, München. — Professor Dr. **C. Heinke**, München. — Direktor **R. O. Heinrich**, Berlin. — Oberingenieur Dr. ing. **K. Hohage**, Berlin. — Postrat **O. Jentsch**, Erfurt. — Professor Dr. **J. Kollert**, Chemnitz. — Direktor **O. Krell**, Berlin. — Professor Dr. **F. Niethammer**, Brünn. — Geheimer Rechnungsrat im Reichs-Postamt **J. Noebels**, Berlin. — Regierungsbaumeister **Pforr**, Berlin. — Professor **Karl Pichelmayer**, Wien. — Oberingenieur **H. Pohl**, Berlin. — Postrat **A. Schluckebier**, Kiel. — Oberingenieur **E. Schulz**, Saalfeld. — Oberingenieur **H. Schwerin**, Charlottenburg. — Direktor Dr. **E. Sieg**, Köln. — Oberingenieur **B. Soschinski**, Berlin. — Direktor **K. Wilkens**, Berlin. — Physiker **R. Ziegenberg**, Berlin

herausgegeben von

Dr. C. Heinke

Professor der Elektrotechnik an der Technischen Hochschule in München.

Siebenter Band:

Elektrische Centralen

von

K. Wilkens.

Leipzig

Verlag von S. Hirzel

1906.

Elektrische Centralen

von

K. Wilkens
Vorstandsmitglied der Berliner Elektrizitätswerke.

Mit 158 Abbildungen und 16 Tafeln.

Leipzig
Verlag von S. Hirzel
1906.

teilgenommen. Dem leider zu früh verstorbenen Direktor JORDAN, welcher ursprünglich die Bearbeitung des erstes Teiles vom siebenten Bande des Handbuches übernommen hatte, war es nur vergönnt, die ersten 30 Seiten abzufassen. Herr Direktor ROSCHER hat die Bearbeitung des Kapitels über die Kontrolle des Gaskraftbetriebes (264—286) freundlichst übernommen, und Herr Ingenieur RÜHLE diejenige über die Kontrolle des Wasserkraftbetriebes sowie über die Kontrolle des Freileitungsnetzes.

Berlin, November 1905.

Der Verfasser.

Die Tafeln 3 und 11—14 befinden sich am Schlusse des Bandes.

Inhaltsverzeichnis.

Erste Abteilung: Entwickelung, Projektierung, Einrichtung der Centralen.

Erster Abschnitt.

Beschreibung ausgeführter elektrischer Centralen.

Zweiter Abschnitt.

Die Stromverteilungssysteme.

Die Strom- und Spannungsregulierung.

Dritter Abschnitt.

Die Projektierung der elektrischen Centralen.

Vierter Abschnitt.

Die innere Einrichtung der Centralen.

I. Dampfkraftanlagen.

a) Kesselanlage.

b) Dampfmaschinenanlage.

II. Gaskraftanlagen.

III. Wasserkraftanlagen.

IV. Elektrischer Teil.

a) Gleichstromwerke.

b) Wechselstromwerke.

c) Unterstationen.

Zweite Abteilung: Der Betrieb von Elektrizitätswerken.

Fünfter Abschnitt:

Die Verwaltung des Elektrizitätswerkes.

Sechster Abschnitt.

Die technische Leitung des Elektrizitätswerkes.

I. Der Betrieb der Centralstation.

a) Die Kontrolle des Dampfkesselbetriebes.

b) Die Kontrolle des Dampfmaschinenbetriebes.

c) Die Kontrolle des Gaskraftbetriebes.

d) Die Kontrolle des Wasserkraftbetriebes.

e) Die Kontrolle des elektrischen Teiles der Anlage.

II. Der Betrieb des Leitungsnetzes.

a) Die Kontrolle des Kabelnetzes.

b) Die Kontrolle des Freileitungsnetzes.

Siebenter Abschnitt.

Aufstellung und Verarbeitung der Betriebsstatistik.

a) Betriebsdaten aus dem Kesselhause.

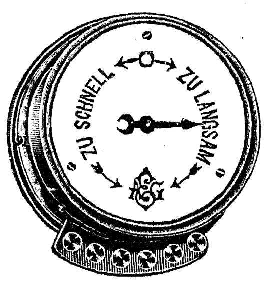
b) Betriebsdaten aus dem Maschinenhause.

c) Betriebsdaten des Leitungsnetzes.

d) Statistischer Jahresbericht.

Druckfehlerberichtigungen.

Seite 40 Zeile 21 von oben lies: 1891 statt 1901.
„ 77 Anmerkung lies: Hdb. VI statt V.
„ 89 Zeile 7 von oben lies: Arbeitsleitung statt Leistung.
„ 145 „ 11 „ unten lies: zur statt und.
„ 169 „ 11 „ „ „ Säurefester statt säurefreier.
„ 185 „ 2 „ oben „ aus statt in.
„ 203 setze folgende Figur statt Fig. 110.



Erste Abteilung.

Entwickelung, Projektierung, Einrichtung der Centralen.

Einleitung.

Kaum zwei Jahrzehnte sind verflossen, seit man die ersten Versuche machte, elektrischen Strom von einer Centralanlage aus an eine grössere Zahl von Konsumenten, die innerhalb eines verhältnismässig kleinen Stadtbezirks wohnten, zu liefern, und doch hält man heute, wenigstens in jeder grösseren Stadt, die Zuführung elektrischer Energie von einer Centrale in die einzelnen Häuser, und zwar nicht nur für Beleuchtung, sondern auch für motorische und andere gewerbliche Zwecke fast für ebenso selbstverständlich wie die Lieferung von Gas und Wasser.

Wenn man ferner bedenkt, dass vor zwanzig Jahren alle die einzelnen Teile, aus denen eine elektrische Centrale besteht, soweit sie überhaupt bekannt waren, sich hinsichtlich der Konstruktion wie der Ausführung noch in einem mehr als primitiven Anfangsstadium befanden, dass aber trotzdem zehn Jahre nach der im Herbst 1882 erfolgten Betriebseröffnung der ersten Edisonschen Centralanlage in New York schon viele grosse Städte elektrische Centralen besassen und dass heute unzählige Städte mittleren und kleinen Umfanges sich der Wohltat des elektrischen Stromes für alle möglichen Zwecke erfreuen, so erkennt man, welche Riesenarbeit innerhalb der kurzen Spanne Zeit geleistet worden ist, und welchen Aufwandes an Scharfsinn und Fleiss es bedurfte, um die elektrischen Centralen auf die jetzige Höhe ihrer Bedeutung im technischen und wirtschaftlichen Leben emporzuheben und zu einer Vollkommenheit und Leistungsfähigkeit zu bringen, die sogar viele Techniker noch vor wenigen Jahren für ausgeschlossen hielten.

Dass diese auf dem Gebiete der praktischen Elektrotechnik vielfach glänzenden Resultate nicht zum wenigsten deutschem Fleiss und deutscher Arbeit zu verdanken sind, darf mit besonderer Genugtuung betont werden.

Von der von hervorragenden Gasfachmännern oft verkündeten Prophezeiung, dass das Gas nach wie vor das allgemeine Beleuchtungsmittel bleiben, das elektrische Licht aber für gewisse Zwecke zur Ergänzung der Gasbeleuchtung eine ganz brauchbare Beleuchtungsart, im wesentlichen jedenfalls nur eine Luxusbeleuchtung bilden werde, kann heute behauptet werden, dass sie nicht in Erfüllung gegangen ist.

In einer ganzen Reihe von grossen Städten, die Gas- und Elektrizitätswerke besitzen, beispielsweise in Bremen, wo nahezu alle bedeutenderen städtischen und privaten Gebäude ganz oder fast ausschliesslich elektrisch *beleuchtet werden und allein in Wohnungen 60000 Lampen installiert sind*, spielt das elektrische Licht als normale Beleuchtungsart eine ganz bedeutende Rolle, und in vielen kleinen Orten, die früher weder ein Gas- noch ein Elektrizitätswerk besassen, hat man dem elektrischen Licht vor dem Gas den Vorzug gegeben, und zwar mit bestem Erfolge sowohl in technischer wie in finanzieller Hinsicht.

Wer heute noch die allgemeine Behauptung aufstellt, dass das elektrische Licht als „Luxusbeleuchtung" zu betrachten sei, darf nicht verlangen, ernst genommen zu werden. Denn wenn auch nicht zu bestreiten ist, dass

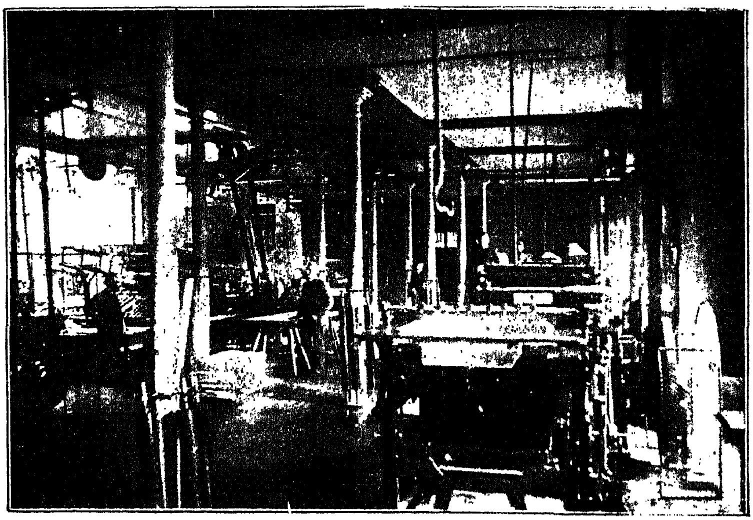


Fig. 1.

in manchen Fällen mit elektrischem Licht ebenso gut wie mit Gaslicht oder anderen Dingen „Luxus" getrieben wird, so muss doch behauptet werden, dass bei den der elektrischen Beleuchtungstechnik heutzutage zur Verfügung stehenden Mitteln — es sei nur an die indirekte Beleuchtung durch Bogenlampen erinnert — die Aufgabe der Beleuchtung mit elektrischem Licht meistens wesentlich vollkommener und praktischer zu lösen ist, als bei der Verwendung von Gaslicht, und zwar unter Aufwendung von Kosten, die oft nicht grösser, zuweilen sogar nicht unwesentlich kleiner sind als diejenigen für Gasbeleuchtung.

Wie praktisch sich beispielsweise für Arbeitsräume die Verwendung der elektrischen Beleuchtung gegenüber der Gasbeleuchtung gestaltet, und welche Fortschritte für solche Räume mit maschinellen Betrieben gleichzeitig die Benutzung des nämlichen elektrischen Stromes im Gegensatz zur Verwendung von Dampfmaschinen, Gasmotoren oder einer anderen Betriebskraft auch für motorische Zwecke bietet, ergiebt sich aus den hier beigefügten Abbildungen Fig. 1 u. 2.

Während Fig. 1 das Aussehen eines Druckereisaales bei Verwendung von Gasbeleuchtung und einer gemeinsamen Antriebsmaschine für die einzelnen Arbeitsmaschinen und dementsprechend mit allen erforderlichen Zubehörteilen einer Transmission zeigt, stellt Fig. 2 den gleichen Saal mit elektrischer Beleuchtung und elektromotorischem Einzelbetrieb dar.

Wenn andererseits nicht geleugnet werden kann, dass das Gas neben der Petroleumbeleuchtung, die trotz ihrer grossen Nachteile infolge der ihr in jedem Falle eigenen ganz geringfügigen Anlagekosten und der gewöhnlich nur sehr kleinen Betriebskosten von allen Beleuchtungsarten noch immer am meisten benutzt wird, zur Zeit für viele die allein in Betracht kommende Art der Beleuchtung darstellt, so muss doch betont werden, dass nicht etwa die

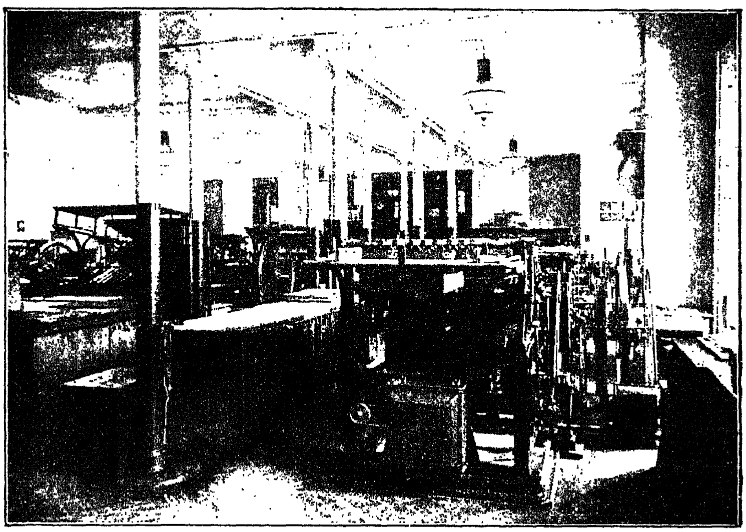


Fig. 2.

hervorragenden Eigenschaften des Gases als Beleuchtungsmittel für die Wahl dieser Beleuchtung ausschlaggebend sind, sondern, von verschwindend wenigen Ausnahmen abgesehen, ausschliesslich der geringe Preis des Gases.

Sieht man von denjenigen ab, die aus Geschäftsinteresse oder alter Gewohnheit oder aber — und zu dieser Kategorie gehören unzählige — weil sie eine sachgemäss ausgeführte elektrische Beleuchtung, insbesondere für Wohnräume, nicht kennen, an der „alten gemütlichen" Petroleumbeleuchtung oder der Gasbeleuchtung mit ihrer „im Winter so angenehmen Wärmewirkung" festhalten, so wirkt ohne Frage auf alle anderen neben der Umständlichkeit und Kostspieligkeit der Neueinrichtung der elektrischen Beleuchtung nur der Preis des elektrischen Stromes abschreckend, der auch heute noch im Vergleich mit den Kosten des Leuchtgases in vielen Städten verhältnismässig hoch ist. Würde man eines Tages in der Lage sein, für alle die verschiedenen Zwecke die gleiche Lichtmenge durch elektrische Lampen ebenso billig zu liefern wie mit Gas, so würde es kaum noch einem Menschen einfallen, eine andere Beleuchtungsart zu wählen, als elektrisches Licht; so

allgemein bekannt sind die Vorteile der elektrischen Beleuchtung im Vergleich mit jeder anderen Beleuchtungsart, wenn dies auch aus persönlichen Interessen nicht von jedem offen zugegeben wird.

Doch nicht nur auf dem Gebiete der Beleuchtung, sondern mindestens ebenso rapid, in manchen Städten sogar in noch viel höherem Masse, hat die Verwendung der Elektrizität für gewerbliche, in erster Linie für motorische Zwecke im Laufe der letzten Jahre an Ausdehnung zugenommen.

Bei den Berliner Elektrizitätswerken z. B. ist die Stromabgabe für gewerbliche, im wesentlichen motorische Zwecke, von etwa 4 Millionen KWStd im Jahre 1896/97 auf 23 Millionen KWStd im Jahre 1901/02 gestiegen bei 8920 Elektromotoren mit einer Gesamtleistung von 33 710 PS.

Den besten Beweis für die eminente Zunahme des Verbrauches an elektrischem Strom für Licht- und motorische Zwecke bieten die statistischen Aufzeichnungen über elektrische Centralen, insbesondere die seit dem Jahre 1894 in der Elektrotechnischen Zeitschrift erscheinenden Zusammenstellungen über die Zahl und Grösse der deutschen Elektrizitätswerke.

Während in Deutschland im Jahre 1894 (vgl. ETZ 1895, 14) 148 Elektrizitätswerke mit einer Gesamtleistung von 38 485 KW an Maschinen und Akkumulatoren und einer Zahl von 35 792 angeschlossenen KW, entsprechend 715 840 Glühlampen von 16 Kerzen, existierten, betrug die Zahl der Elektrizitätswerke am 1. April 1902 (vgl. ETZ 1902, 51) 870 mit einer Leistung von 438 772 KW und einem Anschlusswert von 421 468 KW, entsprechend 8 429 360 Glühlampen von 16 Kerzen.

Ein genauerer Vergleich ergiebt sich aus Tabelle I, in welcher die Hauptdaten für die Jahre 1894, 1901 und 1902 nach den Angaben der Elektrotechnischen Zeitschrift zusammengestellt sind.

Tabelle I.

Elektrizitätswerke.

Jahr	Im Betrieb							Im Bau begriffen oder beschlossen
	Anzahl	Gesamtleistung der Maschinen u. Akkumulatoren in KW	Angeschlossene Glühlampen, ausgedrückt durch den Gleichwert an 50 Wattlampen	Angeschlossene Bogenlampen, ausgedrückt durch den Gleichwert an 10 Amperelampen	Gesamte Pferdestärken der angeschlossenen Elektromotoren (excl. Strassenbahnmotoren)	Gesamtanschlusswert in KW	Gesamtanschlusswert in Glühlampen von 16 Kerzen (50 Wattlampen)	
1894	148	38 485	493 081	12 357	5 635	35 792	715 840	34
1901	768	352 570	3 403 205	64 278	141 414	326 744	6 534 880	90
1902	870	438 772	4 200 203	84 891	192 059	421 468	8 429 360	69

Zu dieser Tabelle ist zu bemerken, dass nur diejenigen Elektrizitätswerke aufgeführt sind, die unter Benutzung öffentlicher Strassen und Wege für die Verlegung der Leitungen ganze Ortschaften oder grössere Teile derselben mit Strom für Licht und gewerbliche Zwecke, teilweise nebenbei auch für Strassenbahnzwecke versorgen, dass also alle Einzelanlagen und die sogenannten Blockstationen, die nur zur Stromversorgung einzelner Häuserblocks dienen, ebenso wie alle Werke, die ausschliesslich oder im wesentlichen Strom für Strassenbahnzwecke liefern, nicht eingeschlossen sind.

Die Tabelle ergiebt das interessante Resultat, dass, abgesehen von der bedeutenden Zunahme der Werke und der Stromverbrauchsgegenstände in der Zeit von 1894 bis 1901, im Laufe des letzten in der Statistik berücksichtigten Betriebsjahres (von 1901 auf 1902) die Werke um 13·3 %, die angeschlossenen Glühlampen um 23·4 %, die Bogenlampen um 32·1 % und die Elektromotoren gar um 35·8 % zugenommen haben.

Die enorme Steigerung der Zahl der angeschlossenen Elektromotoren beweist, dass die Vorteile dieser Motoren mehr und mehr gewürdigt werden. Man hat offenbar auch in weiteren Kreisen erkannt, dass der Elektromotor trotz der vielfach noch hohen Kosten für Strom durch seine Einfachheit, Anpassungsfähigkeit und nahezu unbeschränkte Verwendbarkeit, sowie nicht zum wenigsten dank der für Elektromotoren im Vergleich mit Dampfmaschinen und Gasmotoren meist kleinen Anlagekosten in vielen Fällen allen anderen[1]) Motoren überlegen ist.

Ein lehrreiches Bild von der grossartigen Entwickelung der elektrotechnischen Betriebe, vor allem der elektrischen Centralen, giebt auch die von dem Königlichen Statistischen Bureau für Preussen herausgegebene Statistik, nach welcher (E T Z 1902, 52) die Zahl der ausschliesslich zur Erzeugung von Strom, und zwar vorwiegend solchem für Beleuchtungszwecke, verwendeten Dampfmaschinen von 794 mit 39 610 PS im Jahre 1891 auf 3665 mit 470 854 PS im Jahre 1902 gestiegen ist, was einer Vermehrung der Dampfmaschinen innerhalb dieser elf Jahre um 360 % und der PS um 1090 % bedeutet.

Welche hervorragende Rolle die elektrischen Centralen spielen, die ausschliesslich Strom für Strassenbahnen liefern, beweist die Statistik der Strassenbahn-Centralen in Deutschland (vgl. E T Z 1903, Heft 28), die für das Jahr 1902 174 Centralen aufweist, von denen 80 ausschliesslich Strom für den Strassenbahnbetrieb und 94 nebenbei auch Strom für andere Zwecke liefern.

Dass nicht nur in Deutschland eine enorme Entwickelung der elektrischen Centralen stattgefunden hat, zeigen u. a. die statistischen Aufzeichnungen, die jährlich in der englischen Zeitschrift „The Electrician“ gebracht werden und nach welchen im Jahre 1902 (vgl. Supplement to „The Electrician“ 1903, 2 und 4) in Grossbritannien und Irland 216 Elektrizitätswerke für Beleuchtungszwecke im Betrieb und 91 im Bau oder projektiert waren, während im wesentlichen für Strassenbahnzwecke 89 Elektrizitätswerke betrieben wurden.

1) Vgl. auch Bd. IX, 2. Abt.: Einleitung.

Der Weiterentwickelung der Elektrizitätswerke darf ein günstiges Prognostikon gestellt werden. Denn, wenn es der Elektrizität bisher gelungen ist, bei Verwendung von teilweise noch recht unökonomischen Lampen und bei hohen Strompreisen trotz der Konkurrenz des AUER-Lichtes ihr Feld nicht nur zu behaupten, sondern ihr Verwendungsgebiet von Jahr zu Jahr ganz bedeutend zu erweitern, so ist eine weitere gute, zum Teil wahrscheinlich glänzende Entwickelung der Elektrizitätswerke auf gesunder Basis um so mehr zu erwarten, als einerseits neue Lampenkonstruktionen auf den Markt gebracht worden sind oder ihrer Vollendung entgegengehen, die der elektrischen Beleuchtung neue Gebiete erschliessen werden, und andererseits die Stadtverwaltungen und Gesellschaften, in deren Händen die Festsetzung der Stromtarife liegt, wenn auch langsam, so doch allmählich sicher zu der Überzeugung gelangen, dass die Einführung vernünftiger Stromtarife, insbesondere praktischer und gerechter Rabattsysteme, eine Hauptbedingung für eine gute Rentabilität der Elektrizitätswerke bildet.

Erster Abschnitt.

Beschreibung ausgeführter elektrischer Centralen.

Bevor man daran denken konnte, elektrische Centralen zu bauen, um von diesen aus durch ein Leitungsnetz ganze Städte oder Teile derselben mit Strom zu versorgen, war es notwendig, für die Stromverbrauchsgegenstände, in erster Linie für die elektrischen Lampen, praktisch brauchbare und sicher funktionierende Konstruktionen, sowie ferner Schaltungsmethoden zu besitzen, die es ermöglichten, die einzelnen Stromverbrauchsgegenstände in genügender Unabhängigkeit voneinander zu benutzen. **1.** Die Entwickelung der elektrischen Centralen.

Welche Schwierigkeiten es bereitete, Bogenlampen mit nur einigermassen brauchbarem Reguliermechanismus und dementsprechend ruhigem Licht herzustellen, ist bekannt. Doch auch nachdem dies gelungen war, fehlte noch die Möglichkeit, das Bogenlicht zu „teilen", d. h. mehrere Lampen von einer Stromquelle aus zu speisen, da die ersten Bogenlampen nur als „Einzellichter", also für Einzelbetrieb verwendbar waren.

Diesem Mangel wurde erst durch die von v. Hefner-Alteneck sche Differentiallampe (1879) und deren Nachbildungen, sowie diejenige von Krizik und Piette (1886) gründlich abgeholfen, nachdem man längere Zeit fast die Hoffnung aufgegeben hatte, unter Benutzung des elektrischen Lichtbogens eine brauchbare Lampe zu konstruieren.

Entsprechend der Entwickelung der elektrischen Maschinen und Lampen und infolge der Schwierigkeiten, die sich schon bei der Versorgung von Lampen gleicher Art mit Strom aus einer Centrale zeigten, beschränkte man sich zunächst darauf, Centralen für Bogenlicht- oder Glühlichtbeleuchtung zu bauen.

Die ersten Anlagen, bei welchen mehrere Bogenlampen in einem Stromkreise brannten, wurden mit Reihenschaltung ausgeführt. Während man in Deutschland und auch im übrigen Europa mit den Versuchen der elektrischen Beleuchtung mit Bogenlampen sehr langsam vorging und Erprobungen dieser Beleuchtung nur in kleinem Masstabe vornahm, schossen in Amerika elektrische Bogenlichtanlagen bald wie Pilze aus der Erde. Im Jahre 1885 [1]) hatten bereits 75 Städte in den Vereinigten Staaten elektrische Bogenlicht-

1) Nach Hagen, Elektrische Beleuchtung, 1885.

anlagen für Strassenbeleuchtung sowie private Zwecke, und in New York allein bestanden neben zehn Gasanstalten vier Gesellschaften für elektrische Beleuchtung durch Bogenlampen, während man in Deutschland zu jener Zeit nur einzelnen Anlagen mit einer kleinen Zahl von Lampen begegnete, trotzdem man auch hier über recht gute Maschinen und Lampen verfügte.

Allerdings entsprachen die meisten amerikanischen Anlagen weder in technischer und noch viel weniger in ästhetischer Hinsicht den Anforderungen, die man auch schon damals in Deutschland an derartige Anlagen stellte. Ein Hauptunterschied zwischen den amerikanischen und den europäischen, insbesondere den deutschen Verhältnissen lag darin, dass in Amerika die elektrischen Anlagen nicht von den Stadtverwaltungen oder von Gesellschaften betrieben wurden, die mit den Städten langjährige Verträge abgeschlossen hatten, sondern in den Händen von Gesellschaften (Lichtkompagnien) waren, die sich von der Stadt, meist nur auf ein Jahr, das Recht erteilen liessen, für einen gewissen Stadtbezirk, und zwar sowohl für die Strassen wie an Private elektrisches Bogenlicht zu liefern.

Da viele Lichtgesellschaften nur aus Spekulationssucht gegründet waren und in den grösseren Städten Amerikas oft mehrere Gas- und Elektrizitätsgesellschaften sich gegenseitig Konkurrenz machten, so war es nicht zu verwundern, dass ein grosser Teil dieser Gesellschaften nach kurzer Zeit den Betrieb wieder aufgab. Einen dauernden Erfolg hatten nur diejenigen Lichtkompagnien zu verzeichnen, denen neben ausreichendem Kapital gute Maschinen und Lampen zur Verfügung standen.

Als die bedeutendsten Gesellschaften sind zu nennen:[1])

1. die Brush' Co.,
2. die United States Co. und
3. die American Electric and Illuminating Co.,

die Maschinen und Lampen nach den Systemen Brush bezw. Weston und Thomson-Houston benutzten.

2. Die ältesten Centralen für Bogenlichtbeleuchtung.

Die ersten Centralstationen für Bogenlichtbeleuchtung datieren aus dem Jahre 1881.

Diese Centralen zeichnen sich nicht nur im Vergleich mit den modernen Anlagen, sondern auch mit den ältesten Centralstationen für Glühlichtbeleuchtung durch grosse Einfachheit aus. Letztere ist einmal bedingt durch die Verwendung von Maschinen mit Selbstregulierung und ferner durch die Art der Schaltung. Da die Maschinen nicht parallel geschaltet wurden, sondern einzeln auf je einen Stromkreis hintereinander geschalteter Bogenlampen arbeiteten, waren an Schaltapparaten, abgesehen von den Ausschaltern, vielfach nur Umschalter vorhanden, die es ermöglichten, hinsichtlich der Maschinen und Stromkreise gewisse Austauschungen vorzunehmen.

Eigentliche Reservemaschinen, die man heutzutage in Centralen für unentbehrlich hält, waren nur in seltenen Fällen vorhanden.

Entsprechend der Stromstärke der Bogenlampen, die bei den Systemen von Brush und Thomson-Houston 9 bis 10 Amp. bei etwa 50 Volt Lampenspannung, bei den Weston-Lampen 16 Amp. bei 25 Volt Spannung betrug, arbeiteten die Dynamomaschinen mit diesen kleinen Stromstärken, während die Maschinenspannung, gemäss der jeweiligen Zahl der hinter-

1) Nach Hagen, Elektrische Beleuchtung, 1885.

einander geschalteten Bogenlampen, bei Brush und Thomson-Houston im allgemeinen 1600 bis 2000 Volt betrug und bei Weston meistens 1000 Volt nicht überstieg.

Dass die Weston-Anlagen dank der geringeren Maximalspannung sich hinsichtlich der Lebensgefahr für Menschen, die bei der primitiven Art der Montage von Leitungen und Lampen nicht gering war, von den Brush- und Thomson-Houston-Anlagen vorteilhaft unterschieden, ist keine Frage, wenn auch andererseits vom technischen Standpunkte aus die durch die höhere Stromstärke bedingte Wahl stärkerer und schwererer Leitungen als nachteilig zu bezeichnen ist.

Von den in den ältesten Bogenlicht-Centralen benutzten Dynamomaschinen ist diejenige der Thomson-Houston-Gesellschaft als die charakteristischste

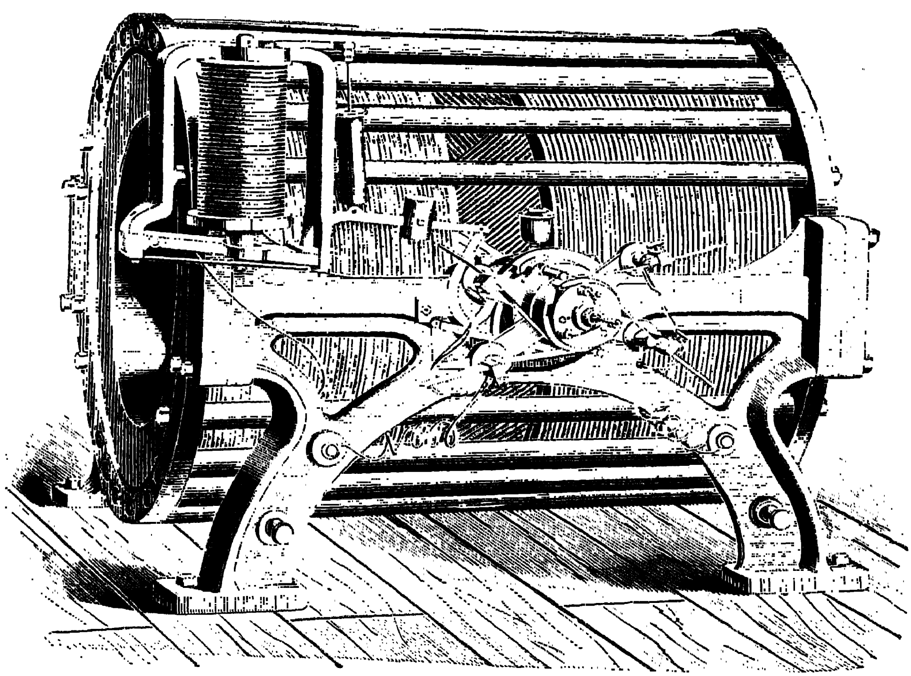


Fig. 3.

hervorzuheben. Die Thomson-Houston-Maschine (Fig. 3), die sich in Deutschland nur wenig eingeführt hat, weicht bekanntlich in ihrem ganzen Aufbau, und zwar in der Gestaltung der Feldmagnete wie in der Form und Bewicklung des Ankers von allen anderen Dynamokonstruktionen wesentlich ab. Auch die Art der Spannungsregulierung oder der Konstanthaltung der Stromstärke, die auf der durch automatische Verstellung von Doppelbürsten bewirkten und der Zahl der eingeschalteten Bogenlampen entsprechenden Variierung der Zeitdauer beruht, innerhalb welcher die drei Ankerspulen dem äusseren Stromkreise eine grössere oder geringere elektromotorische Kraft zuführen, ist höchst originell und hat sich als ausserordentlich praktisch erwiesen.

Die Schaltung einer grossen Zahl von Bogenlampen in einer Reihe (die reine Serienschaltung) bildet auch heute noch in Amerika die Regel, während

in Europa meistens Serien von zwei bis vier Lampen parallel geschaltet werden, und nur in einzelnen Fällen reine Serienschaltung oder reine Parallelschaltung zur Verwendung kommt.

3. Die Centralen für Glühlichtbeleuchtung.

Nicht lange nachdem die ersten Bogenlicht-Centralen ihren Betrieb eröffnet hatten, erfolgte auch die Inbetriebsetzung der ersten Centralstationen für Glühlichtbeleuchtung.

Die Erkenntnis der Mängel, die den ersten Bogenlicht-Anlagen anhafteten, vor allem die Ungleichmässigkeit der mit Bogenlampen erzielten Beleuchtung, gab schon früh die Veranlassung, das durch den elektrischen Strom hervorgerufene Glühen von Drähten oder anderen Stoffen zur Herstellung von Lampen zu benutzen.

Unter der grossen Zahl der Forscher, die sich mit dem Problem der Herstellung der elektrischen Glühlampe befassten, nimmt Edison die erste Stelle ein, wenn auch ihm allein die Erfindung der Glühlampe keinesfalls zugesprochen werden darf. Wohl aber gebührt Edison das Verdienst, zuerst praktisch nachgewiesen zu haben, in welcher Weise ein grösserer Bezirk einer Stadt von einer Centrale aus mit Strom für elektrische Glühlichtbeleuchtung versorgt werden könne, und für dieses vollkommen neue System der Beleuchtung eine Reihe von Maschinen, Apparaten und Zubehörteilen erfunden und angegeben zu haben, die für die Entwickelung der elektrischen Centralen von fundamentaler Bedeutung waren und zum Teil, wenn auch in modificierter Form, noch heute bei der Herstellung elektrischer Anlagen Verwendung finden.

4. New Yorks erste Centrale.

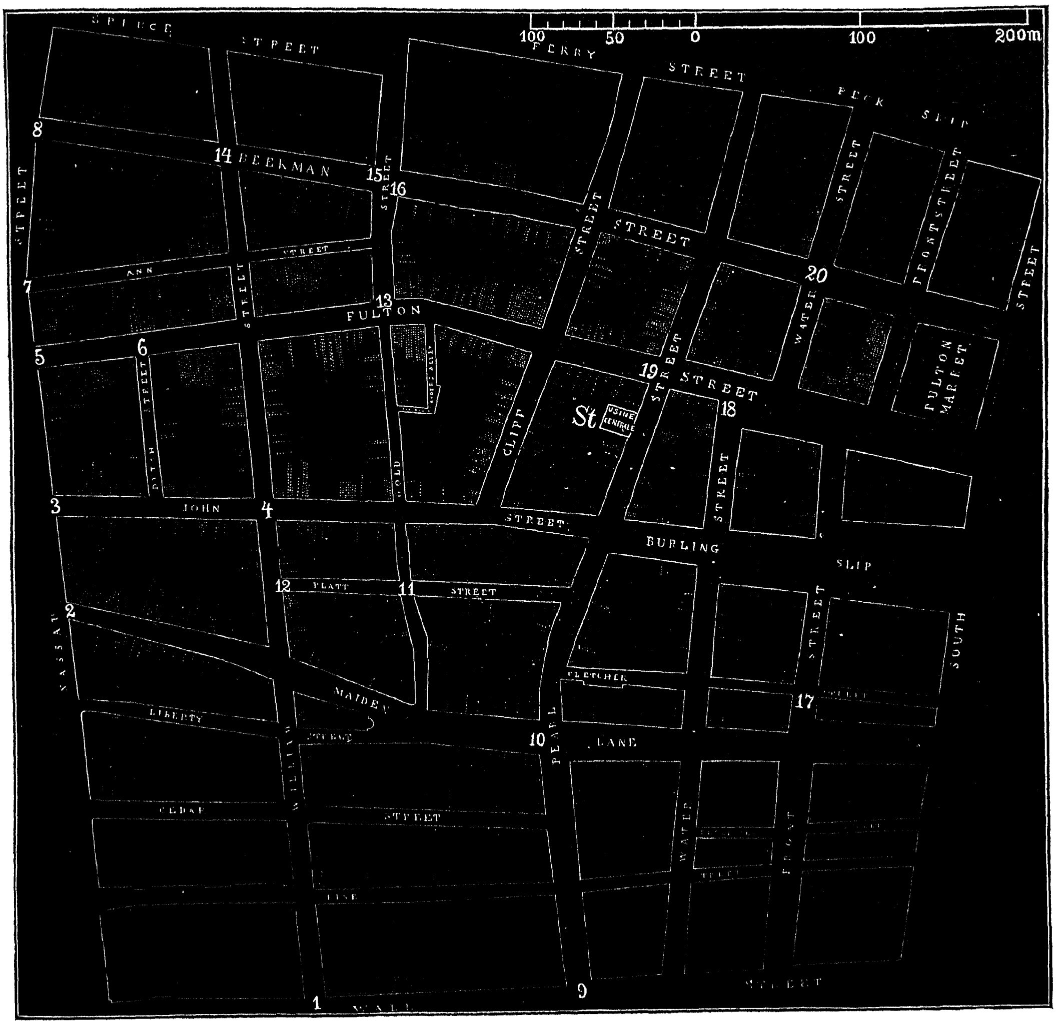
Edison hat die erste Centrale der Welt, die Centralanlage für den sogenannten Distrikt I in New York, mit allen Details nach seinem Entwurf erbaut und am 3. September 1882 dem Betrieb übergeben.

Mitten in dem mit Strom zu versorgenden Bezirk (vgl. Tfl. I), dem Hauptgeschäftsviertel von New York, gelegen, war die Centrale für die gleichzeitige Versorgung von 6000 bis 7000 Glühlampen von 16 Kerzen bemessen. Das Versorgungsgebiet umfasste bei einem Radius von 300 m mittlerer Länge eine Fläche von ca. 30 ha.

Wenn auch die Zahl der anfangs mit Strom versorgten Lampen und das Leitungsnetz, das sich über kaum den hundertsten Teil der City von New York erstreckte, nach heutigen Begriffen recht klein erscheint, so ist es doch staunenswert, mit welchem Scharfsinn Edison die Anordnung der ganzen Centrale einschliesslich des Leitungsnetzes getroffen hat; galt es doch für alle die unzähligen Einzelteile, für die irgend welche Vorbilder nicht zur Verfügung standen, neue Konstruktionen zu erdenken und durchzuführen. Schon die Anordnung der Centrale zeigt, wie praktisch Edison zu Werke gegangen ist.

Im Keller des vierstöckigen Gebäudes der Centrale fanden neben den Lagerräumen für die Kohlen vier Dampfkessel System Babcock & Wilcox, sowie die Pumpen und ein für die Kühlung der Dynamoanker dienendes Gebläse Aufstellung, während im Erdgeschoss die Dampf- und Dynamomaschinen aufgestellt waren.

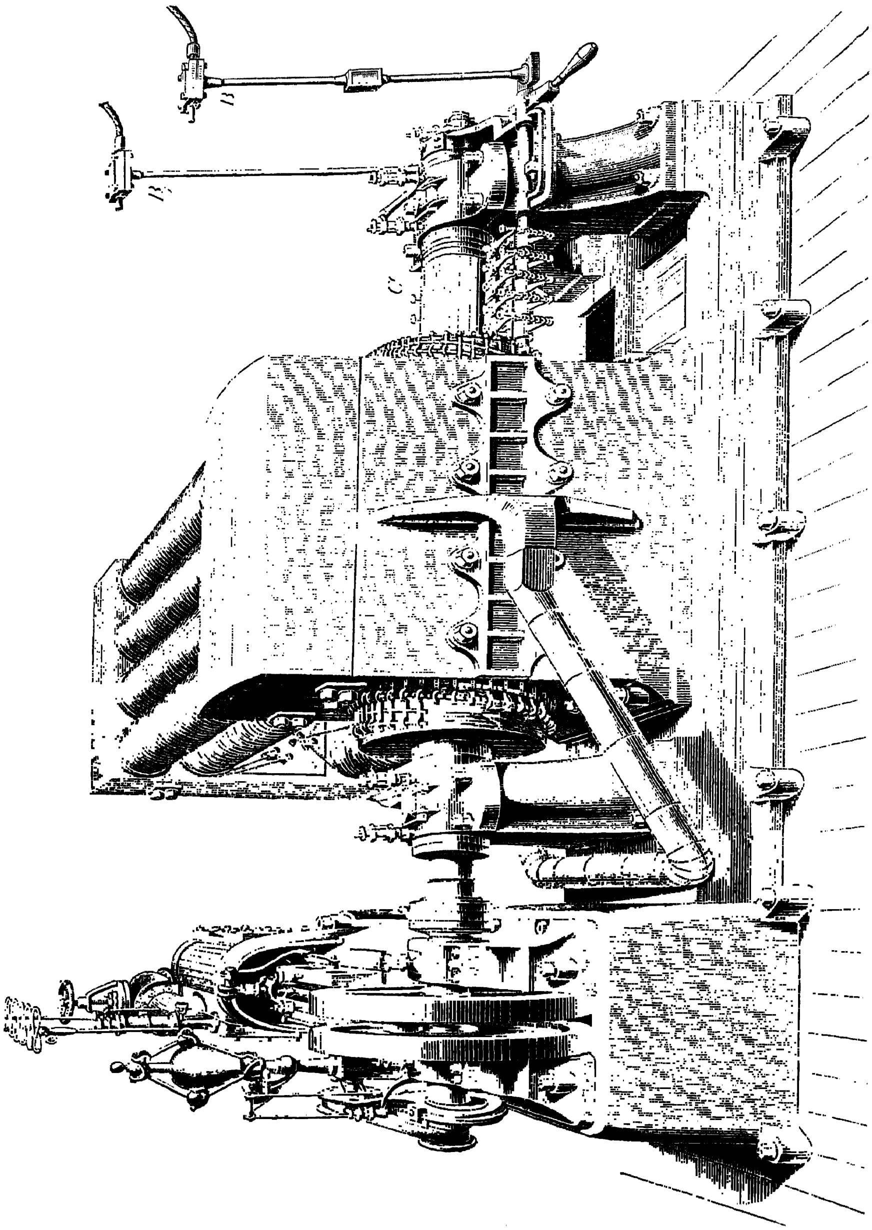
Die Aufstellung der Dampfkessel im Keller unterhalb des Maschinenraumes ist zwar nach unseren Begriffen nicht nur nicht empfehlenswert, sondern nicht einmal erlaubt, hatte aber in der Edisonschen Anlage den grossen Vorteil, dass die Kohlen, die von der Strasse aus direkt in ihre Behälter geschüttet wurden, nahe bei den Kesseln lagen. Die so an und



Stromversorgungsbezirk der ältesten Edison-Centrale (St.) mit den Speisepunkten 1—20.

Verlag von S. Hirzel in Leipzig.

für sich schon bequeme Zuführung der Kohlen zu den Kesseln war noch weiter vereinfacht durch separat angetriebene Transportschnecken, welche die Kohlen aus dem Lagerraum vor die Kessel schafften. Da auch für die Entfernung der Schlacken aus dem Kesselhause Schnecken gleicher Art zur



Fig

Verfügung standen, war es möglich, den Arbeitslohn für die Bedienung der Kesselanlage auf das kleinste Mass zu beschränken.

Ebenso rationell war es, die Dampfmaschinen unmittelbar oberhalb der Kessel aufzustellen, da durch diese Anordnung eine kurze Rohrleitung zwischen Kessel und Dampfmaschinen ermöglicht und die Menge des durch Kondensation verlorenen Dampfes ausserordentlich gering wurde.

Von ganz besonderem Interesse ist die von Edison benutzte direkte Kuppelung der Dampf- und Dynamomaschinen. Die Wahl dieser Anordnung, die mit dem Riemenantrieb eine nicht zu unterschätzende Verlustquelle und eine gewisse Unsicherheit im Betriebe beseitigte und sonst allgemein viel später, in Deutschland erst im Jahre 1888, zur Anwendung kam, zeigt, mit welchem sicheren Blick und mit welcher Kühnheit Edison bei der Aus-

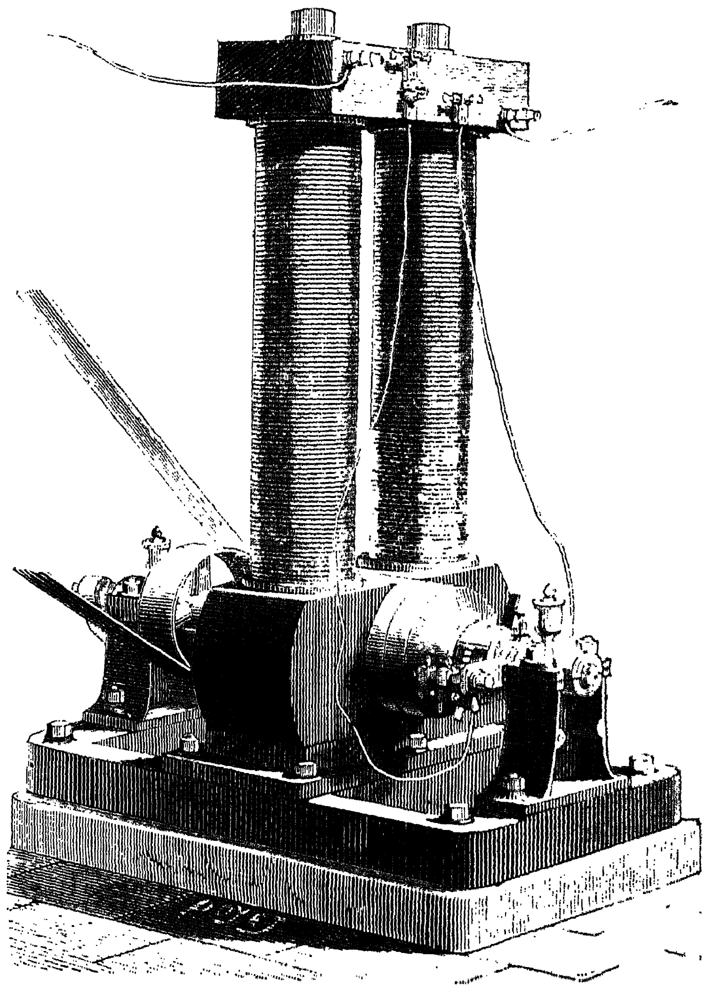


Fig. 5.

führung seiner Anlagen zu Werke ging. Mit dem Bau seiner „Dampfdynamo“ hat er den ersten Schritt zur Konstruktion der später zu so grossartiger Entwickelung gelangten Maschinenaggregate für Stromerzeugung, bestehend aus einer Dampfmaschine oder einem anderen Antriebsmotor und einer Dynamomaschine (eines Generators) oder auch mehrerer der letzteren getan.

Aus Fig. 4 ergiebt sich die Gesamtanordnung der Edisonschen Dampfdynamo für eine Leistung von 125 PS, die sich von den meist für Einzelanlagen benutzten und in Fig. 5 und 6 dargestellten Dynamomaschinen, von

denen die erstere durch ihre langen und dünnen Magnetschenkel auffällt, wesentlich unterscheidet.

Die mit Nebenschlusswicklung versehene und mit einem Trommelanker ausgestattete Dampfdynamo erregte zunächst auf der Ausstellung in Paris im Jahre 1881 und zwei Jahre später auf der Weltausstellung in Philadelphia, auf letzterer unter der Bezeichnung „Jumbomaschine", grosses Aufsehen. Ganz besonders interessierte die ungleichmässige Eisenverteilung in den Feldmagneten, die, als „Kolonnenmagnete" ausgebildet, im ganzen zwölf Schenkel besassen, von denen sich acht (2 × 4) an den oberen und vier an den unteren Polschuh anschlossen.

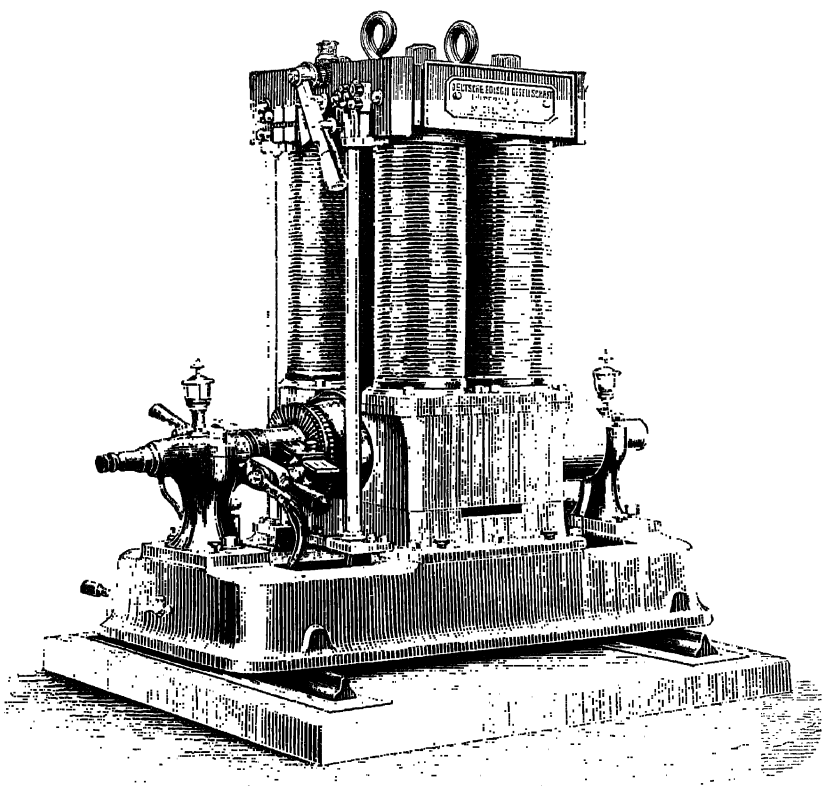


Fig. 6.

Wenn auch diese Anordnung in mehrfacher Hinsicht nicht als rationell bezeichnet werden kann, so war der von Edison eingeschlagene Weg, um zu einem Maschinenmodell für grössere Leistungen zu gelangen, bei den damaligen Kenntnissen über die Herstellung von Dynamomaschinen im ganzen doch recht praktisch, und es muss rühmend anerkannt werden, dass die Ausführung der Edisonschen Maschinen von Anfang an in der Hauptsache eine sorgfältige, und dass ihr Wirkungsgrad ein günstiger war, wenn auch andererseits das teilweise grobe Aussehen der Maschinen Befremden erregte.

Um bei geringem Aufwand an Material eine möglichst hohe Belastung der Ankerbewicklung riskieren zu können, führte Edison dem Anker mit Hilfe des früher erwähnten Gebläses von aussen durch das Rohr (R) kalte Luft zu.

Zur Regulierung der Klemmspannung der stromerzeugenden Maschinen schaltete Edison, analog der noch heute verwendeten Methode, einen variabelen Widerstand (Fig. 7) in den Stromkreis der Feldmagnete. Die Ab- und Zuschaltung von Widerstandsstufen erfolgte bei den Centralanlagen gemäss den Angaben eines von der Spannung zwischen den Hauptsammelschienen der Centralstation beeinflussten Galvanometers bezw. eines Indikators

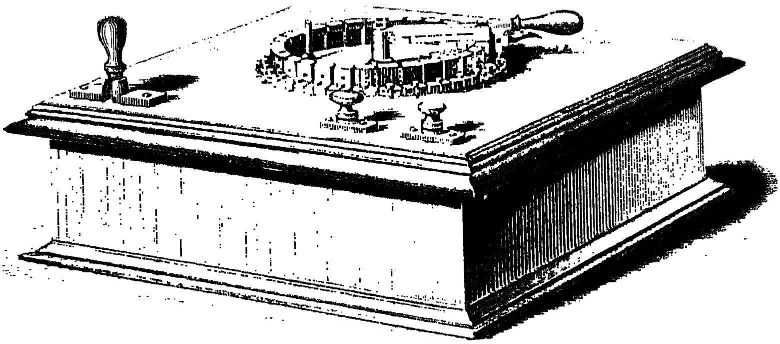


Fig. 7.

(Fig. 8) von der Hand, bei den Einzelanlagen dagegen schon vielfach automatisch durch den in Fig. 9 dargestellten Apparat, eine Verbindung des erwähnten Indikators mit einem durch zwei Elektromagnete (*I* und *II*) betätigten Schaltapparates, die ihrerseits von dem Indikator wechselweise ein- und ausgeschaltet wurden.

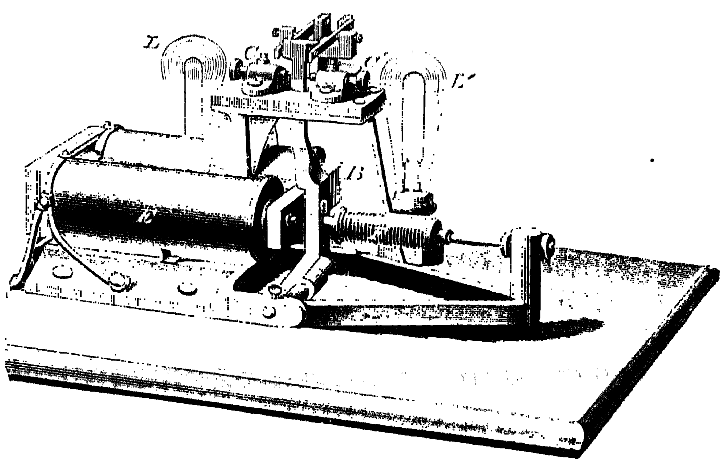
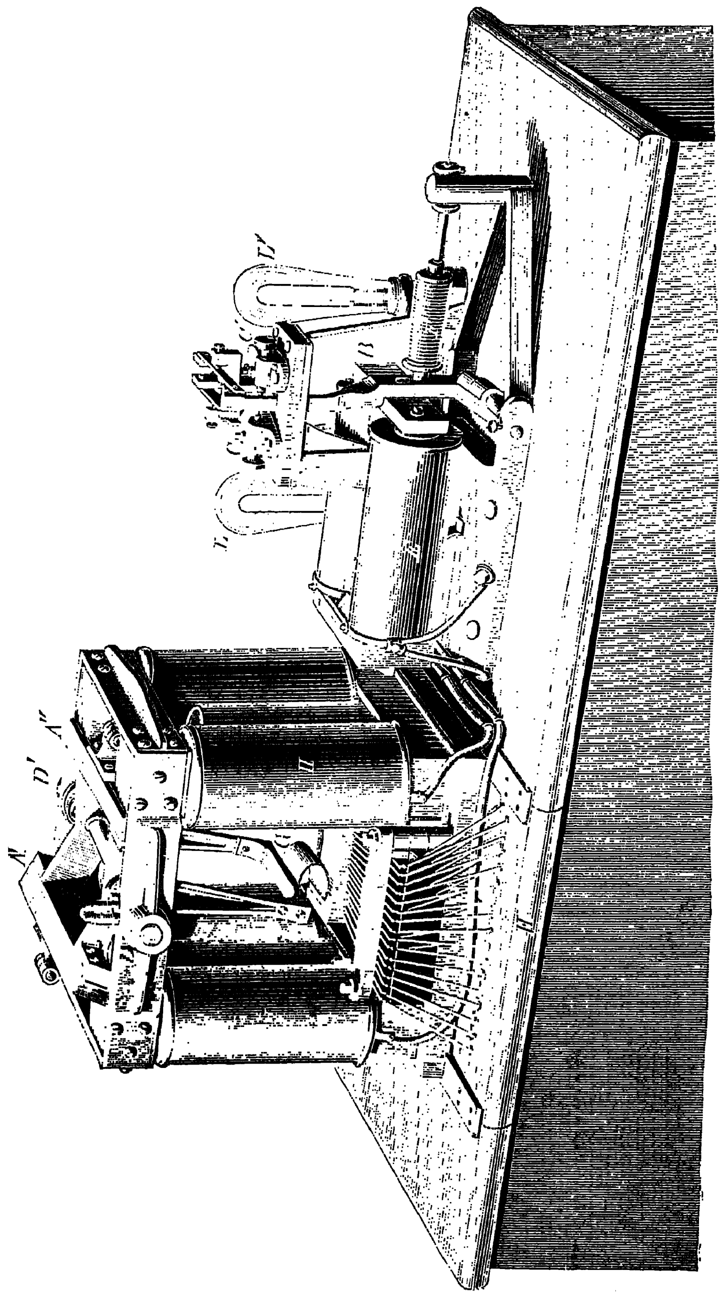


Fig. 8.

Durch den Indikator wurde dem Schaltwärter gleichzeitig ein akustisches und ein optisches Signal gegeben, indem mit Hilfe eines in seiner Stärke von der Spannung in der Centrale abhängigen Elektromagneten je nach der Höhe der Spannung eine rote oder eine grüne Glühlampe und ausserdem ein elektrisches Läutewerk eingeschaltet wurde.

Sowohl das als Voltmeter benutzte Galvanometer wie auch der Indikator zeigten also die Spannung in der Centrale und nicht etwa diejenige an den

Speisepunkten des Leitungsnetzes an. Um über die Differenz der Spannungshöhe in der Centrale und im Leitungsnetz ein Bild zu haben, begnügte man sich damit, täglich bei verschiedenen Netzbelastungen mit Hilfe einer Ver-



gleichsmessbatterie von hundert kleinen DANIELL schen Elementen die Spannung an den Speisepunkten zu kontrollieren. Je nach der Höhe der auf diese Weise festgestellten Netzspannungen wurde dann die Spannung in der Centrale gehalten.

Ausser diesen, nach heutigen Begriffen recht primitiven Messinstrumenten für die Einhaltung richtiger Spannung an den Konsumstellen verwendete Edison noch ein Galvanometer, das, in eine der Hauptsammelschienen oder in einen Nebenschluss zu einer solchen eingeschaltet, direkt die Zahl der jeweilig mit Strom zu versorgenden Lampen von 16 Kerzen (mit einem Strombedarf von etwa 0·8 Amp. bei 108 Volt) anzeigte. Dieser Stromstärkemesser fand insbesondere auch zur Feststellung der für die Stromversorgung erforderlichen Zahl von Maschinen Verwendung. Man beschränkte sich darauf, die Gesamtzahl der gleichzeitig brennenden Lampen zu kontrollieren und demgemäss so viele Maschinen parallel zu schalten, als nach der bekannten Normalbelastung einer Maschine für die zu versorgende Zahl von Lampen notwendig waren. Dass bei diesem Verfahren die parallel arbeitenden Maschinen oft ungleichmässig belastet waren und dass die Parallelschaltung selbst bei dieser Art der Messung von Spannung und Stromstärke nicht geringe Schwierigkeiten verursachte, ist erklärlich.

Um bei dem Zuschalten einer neuen Maschine einigermassen sicher operieren zu können, kam Edison auf die gute Idee, die zuzuschaltende Maschine, bevor sie auf die Sammelschienen geschaltet wurde, durch einen Lampenwiderstand (Lampenbatterie) ebenso hoch, also mit ebenso viel Lampen zu belasten, als augenblicklich jede im Betrieb befindliche Maschine Lampen mit Strom zu versorgen hatte. Liefen also beispielsweise drei Maschinen mit einer Belastung von zusammen 3000, jede also mit 1000 Lampen, so wurde die hinzuzuschaltende vierte Maschine zunächst mit 1000 Lampen der Lampenbatterie belastet und dann parallel geschaltet. Nach der Zuschaltung der neuen Maschine wurden dann die Lampen der Lampenbatterie nach und nach abgeschaltet, während gleichzeitig die Spannung der vorher im Betrieb befindlichen Maschinen herunterreguliert wurde, bis alle Maschinen anscheinend gleichmässig belastet waren. Um dies einfach bewerkstelligen zu können, war die Einrichtung getroffen, die Reguliermechanismen aller Maschinen kuppeln und so die Regulatoren gemeinsam betätigen zu können.

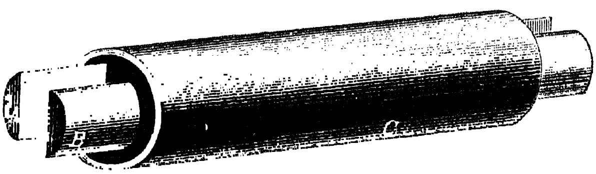


Fig. 10.

Nicht minder ingeniös als die Erzeugung und Regulierung wusste Edison auch die Verteilung des Stromes durch im Erdboden verlegte kabelartige Leitungen zu bewerkstelligen.

Die Disposition des nach dem Zweileitersystem angelegten Leitungsnetzes ist ebenso interessant wie die Konstruktion und Ausführung der einzelnen Teile desselben.

Wie aus Tafel I ersichtlich ist, wurde der Strom aus der Centrale 20 teilweise auffallend dicht zusammenliegenden Punkten des Verteilungsnetzes durch Speiseleitungen zugeführt, deren Querschnitte den Längen proportional gewählt und für verhältnismässig sehr kleine Verluste berechnet waren.

Als Leitungsmaterial verwendete Edison Kupferstäbe mit Kreissegment-Querschnitt (Fig. 10), deren zwei, einer für die positive und einer für die negative Leitung, in einem Eisenrohr, von diesem und gegeneinander isoliert, untergebracht waren. Die Rohre, in denen die Kupferstäbe zunächst durch Pappscheiben getrennt gehalten waren, wurden unter Anwendung eines ent-

sprechenden Druckes mit einer im wesentlichen aus Asphalt bestehenden, geschmolzenen Isoliermasse ausgefüllt, die nach dem Erkalten zu einer festen Masse erstarrte.

Der Isolationswiderstand dieser Doppelleitungsrohre, die normal in Längen von sechs Meter hergestellt wurden, musste für diese Länge vor der Verlegung mindestens 150 Megohm betragen. Wenn dieser Widerstand auch schon an und für sich nicht gross war, und durch die bedeutende Zahl der

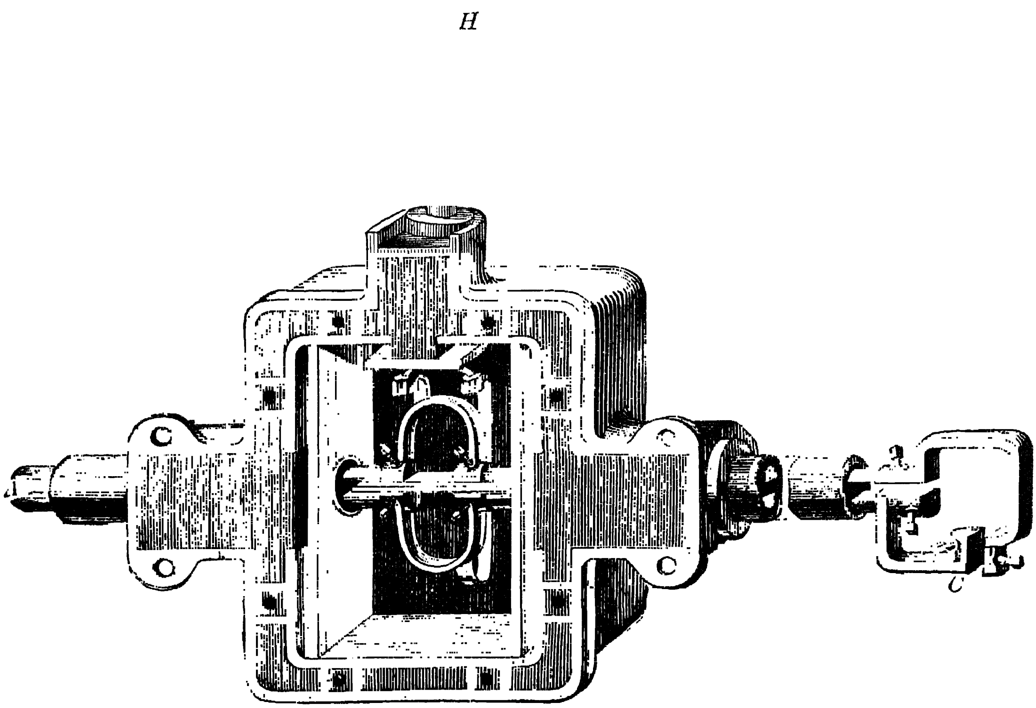


Fig. 11.

für grössere Leitungsstrecken erforderlichen Verbindungsstücke (Muffen) ohne Zweifel noch erheblich herabgesetzt wurde, so haben die in Amerika und auch anderwärts, z. B. in Mailand, gemachten Erfahrungen doch bewiesen, dass sich mit diesem Leitungsmaterial bei Leitungsnetzen kleinerer Ausdehnung recht wohl arbeiten liess, und dass diese unterirdisch verlegten Leitungen gegenüber den sonst fast allgemein benutzten Luftleitungen grosse Vorteile boten.

Die für die Verbindung und Abzweigung der einzelnen Leitungsrohre notwendigen Verbindungskasten (Fig. 11) und Muffen (Fig. 12) ent-

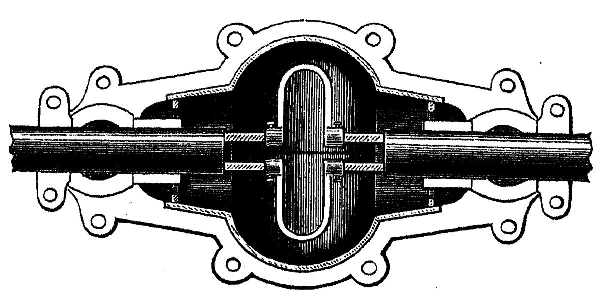


Fig. 12.

sprachen im ganzen der Anordnung, die noch heute für die Kabelarmaturen, die gleichen Zwecken dienen, benutzt wird.

Hervorzuheben ist, dass Edison in den Speiseleitungen zwei dünne isolierte Einzeldrähte einführte, um in der oben angeführten Weise di Spannung an den Speisepunkten des Netzes kontrollieren zu können.

Die Berücksichtigung aller dieser Einzelheiten beweist, mit welchem Scharfsinn und wie vollkommen für die damalige Zeit Edison seine Aufgabe gelöst hat.

Das bei der New Yorker Centrale in Anwendung gebrachte Zweileitersystem benutzte Edison auch noch bei einigen weiteren kleineren Centralen, doch erkannte er bald, dass mit diesem System, zumal bei der Verwendung der bisherigen Glühlampen mit einer Stromstärke von über $^{3}/_{4}$ Amp. für 16 Kerzen, für die Stromversorgung grösserer Distrikte nicht auszukommen sei, wollte man nicht für die Leitungen Kupferquerschnitte verwenden, die eine Rentabilität der Anlagen von vornherein ausschlossen.

Das beste Mittel zur Verringerung der Leitungsquerschnitte bei ausgedehnten Versorgungsgebieten fand Edison in der Anwendung des von Dr. John Hopkinson in London erfundenen Dreileitersystems.

Nach dem Hopkinsonschen Patent, das im Deutschen Reiche vom 22. Februar 1883 ab lief, war geschützt:

„In einem elektrischen Verteilungssystem die Anwendung von drei oder mehreren Konduktoren in Kombination mit zwei oder mehreren hintereinander geschalteten Maschinen, mögen nun die Zwischenkonduktoren kontinuierlich sein oder durch die Erde gebildet werden."

Hopkinson hat also in seinem Anspruch, der sich übrigens auch auf das von den anderen Mehrleitersystemen noch in Betracht kommende Fünfleitersystem bezieht, ausdrücklich die Verwendung von zwei oder mehreren hintereinander geschalteten Maschinen vorgesehen. Hieraus folgt, dass, wie vorweg konstatiert werden mag, die meisten nach dem Dreileitersystem gebauten Anlagen nicht unter das Hopkinsonsche Patent fallen, da bei diesen Anlagen in der Regel von der Verwendung von zwei in Reihe geschalteten Maschinen abgesehen und die Teilung bei Gleichstrom-Anlagen im allgemeinen durch Akkumulatoren, teilweise unter Zuhilfenahme von besonderen Vorrichtungen (Spannungsteilern), bei Wechselstrom-Anlagen durch die Transformatoren vorgenommen wird.

Das Dreileitersystem, das in einem späteren Kapitel noch einer näheren Betrachtung unterzogen werden soll, bietet bekanntlich den Vorteil, dass im Vergleich zu dem Zweileitersystem, je nachdem man den Mittelleiter (Nullleiter) gleich oder halb so stark wie den Querschnitt eines Aussenleiters wählt, an der Menge des aufzuwendenden Kupfers oder gespart werden, während die Gesamtkosten für das Leitungsnetz, insbesondere bei der Verwendung von unterirdisch verlegten Kabeln, selbstredend nicht in gleichem Masse abnehmen, da sie dem Querschnitt der Leitungen nicht direkt proportional sind, sondern u. a. auch von der Aufwendung für Isolationsmaterial und Verlegung abhängen.

Zum ersten Male hat Edison das Dreileitersystem im Jahre 1883 auf einer Ausstellung in Louisville und dann für eine kleine Centrale in Brockton (Mass.) praktisch verwertet und in den späteren Jahren für eine Reihe von Centralen benutzt, da die durch dieses System und ferner durch die Verwendung einer neuen Sorte von Glühlampen, die bei 16 Kerzen Leuchtkraft

und 108 Volt Spannung nur noch etwa $^1/_2$ Amp. bedurften, erzielte Verbilligung des Leitungsnetzes eine gute Rentabilität der Anlagen erwarten liess.

Als eine der ältesten grösseren von EDISON nach dem Dreileitersystem in Amerika erbauten Centralen mag noch diejenige in St. Louis erwähnt werden. 5. St. Louis.

Für die gleichzeitige Versorgung von 3500 bis 4000 Lampen von 16 Kerzen projektiert, enthielt diese Centrale neben vier Dampfkesseln, von denen jeder für eine Dampfmaschinenleistung von 198 PS ausreichen sollte, und den in Nebenräumen untergebrachten Mess- und Schaltapparaten sechs Dampfmaschinen, jede durch direkte Riemenübertragung mit zwei Dynamomaschinen der früher erwähnten Type (Fig. 6) verbunden, und für 700 Lampen von 16 Kerzen ausreichend.

Dass EDISON in dieser Centrale entgegen seiner Anordnung in New York zu einer kleinen Maschinentype mit Riemenantrieb zurückgriff, braucht nicht zu Ungunsten der mit den Dampfdynamomaschinen gemachten Erfahrungen gedeutet zu werden; es erklärt sich die für St. Louis und andere jüngere Centralen gewählte Anordnung vielmehr dadurch, dass bei diesen Anlagen die Zahl der gleichzeitig brennenden Lampen verhältnismässig klein und so variabel war, dass es ökonomischer schien, mit einer grösseren Zahl von kleinen Maschinen als mit wenigen grösseren Maschinensätzen zu arbeiten.

Die für den Betrieb nicht gerade angenehme getrennte Aufstellung der Dampf- und Dynamomaschinen in zwei Stockwerken war durch die hohen Preise der Grundstücke bedingt.

Die von anderen Gesellschaften in Amerika erbauten Glühlicht-Centralen unterscheiden sich mit Ausnahme der von der BRUSH-SWAN-Kompagnie gebauten Anlagen, die zuerst den Versuch machte, Akkumulatoren für die Lieferung von Strom zur Glühlichtbeleuchtung aus einer Centrale nutzbar zu machen, von den EDISONschen Anlagen in der Hauptsache durch die Konstruktion der Dynamomaschinen und Glühlampen.

Die United States Electric Lighting Company verwendete WESTONsche Dynamomaschinen und von MAXIM erfundene und durch WESTON verbesserte Glühlampen. Die WESTONsche Dynamomaschine war im Gegensatz zu der EDISONschen Maschine mit Compoundwicklung versehen und besass nach den Berichten der Gesellschaft bei variabeler Belastung einen hohen Grad von Gleichförmigkeit in der Spannung.

Das System BRUSH-SWAN zeichnete sich durch die Verwendung von Akkumulatoren aus, die, in der Form kleiner Batterien in den einzelnen Häusern aufgestellt, während der Tagesstunden von den mit hoher Spannung arbeitenden Bogenlicht-Centralen geladen wurden, um am Abend allein, d. h. ohne Stromzufuhr von Maschinen, die Glühlampen in den einzelnen Häusern oder Häuserblocks mit Strom zu versorgen.

Wenn auch die von EDISON gegen die BRUSH-SWAN-Gesellschaft gerichteten Angriffe übertrieben waren — bezeichnend ist die Äusserung EDISONS[1]) (EDISON Bulletin S. 275): „Sobald jemand sich daran macht, mit Akkumulatoren zu arbeiten, so legt er dadurch seine Neigung zum Betrügen klar an den Tag“ — so unterliegt es doch keinem Zweifel, dass der von dieser Gesellschaft eingeschlagene Weg für die Verwendung von Akkumulatoren vom technischen und finanziellen Standpunkt aus betrachtet recht ungünstig gewählt war.

1) Nach HAGEN, Elektrische Beleuchtung, 1885.

6. Mailand

In Europa erfreute sich, wenn auch nur für einen kleinen Stadtbezirk, zuerst Mailand des Besitzes einer elektrischen Centrale für Glühlichtbeleuchtung.

Die Mailänder Centrale ist unter Verwendung der in Amerika erprobten Systeme der Maschinen, Apparate und Leitungen von Edison erbaut und später in den Besitz der Società generale Italiana System Edison übergegangen.

Nachdem seit Oktober 1882 mittels Luftleitung und unter Verwendung kleiner Edison-Maschinen an einige Konsumenten Strom abgegeben worden war, erfolgte im März 1883 die Inbetriebsetzung des unterirdischen Kabelnetzes und im September desselben Jahres die Fertigstellung der Centrale mit vier Dampfdynamomaschinen.

Schon im Jahre 1884 wurden behufs Stromlieferung für das Skala-Theater zwei und später noch weitere vier Dampfdynamomaschinen hinzugefügt, sodass die Centrale über zehn derartige Maschinensätze verfügte.

Fig. 13 zeigt das im Erdgeschoss, $2^1/_2$ m unter der Strassenoberfläche gelegene Maschinenhaus der alten Edison-Centrale in der Via Sta. Radegonda mit den genannten zehn Dampfdynamomaschinen.

Die Dampfmaschinen, von denen acht nach dem System Armington-Sims und zwei nach demjenigen von Porter-Allen gebaut waren, besassen bei 8 Atm. Überdruck und 350 Umdrehungen in der Minute eine Leistung von je 150 PS und waren mit einer Dynamomaschine der Jumbo-Type (vgl. Fig. 4) für 700 Amp. und 125 Volt direkt gekuppelt. Je zwei dieser Maschinen arbeiteten hintereinander geschaltet auf das nach dem Dreileitersystem eingerichtete und mit Edisonschem Material (Fig. 10, 11 u. 12) ausgeführte Leitungsnetz.

Zu diesen Maschinen, die die Stammanlage der Mailänder Centrale bildeten, kamen später acht Bogenlichtmaschinen System Thomson-Houston (Fig. 3) und ferner zwei Wechselstrommaschinen System Zipernowsky von der Firma Ganz & Co. in Budapest.

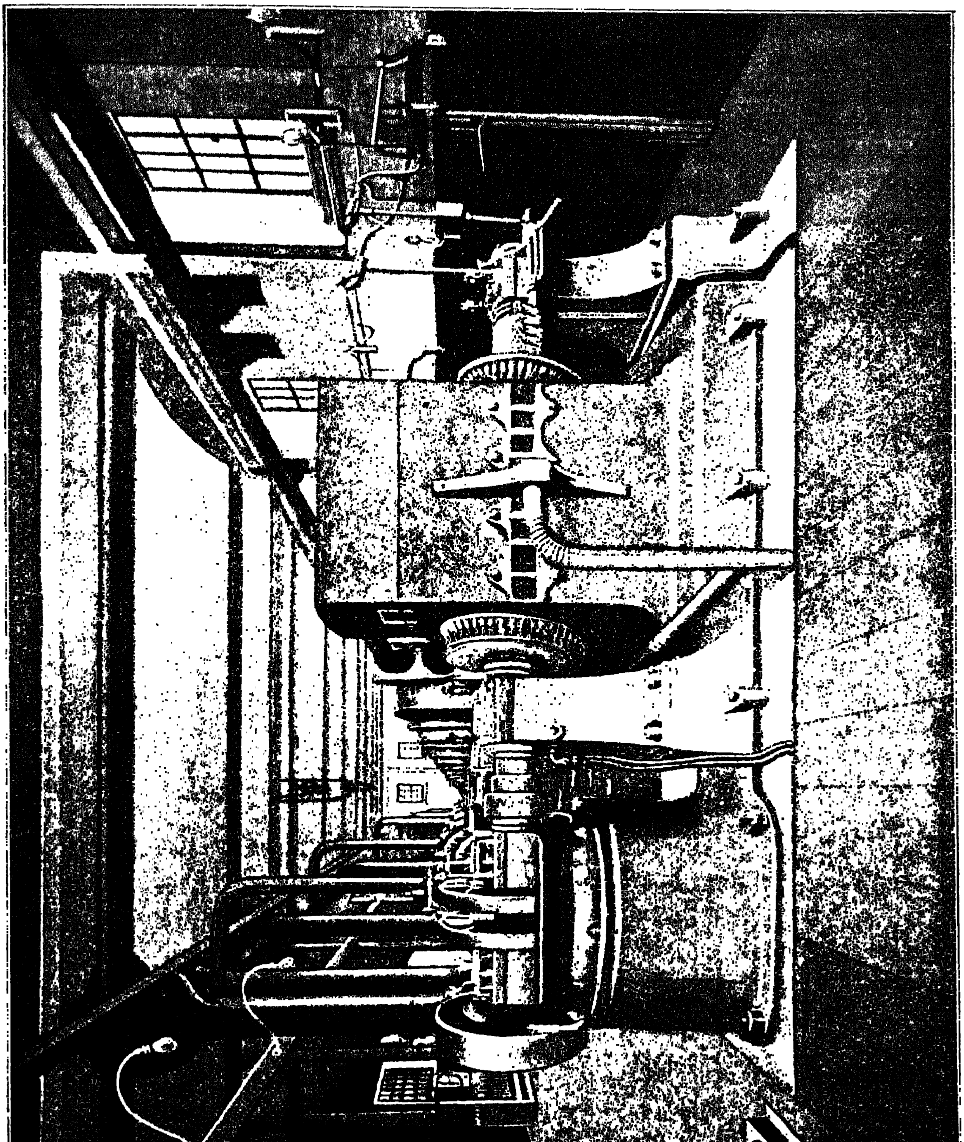
Die ersteren erzeugten bei 850 minutlichen Umdrehungen einen Gleichstrom von 10 Amp. und 1750 Volt und wurden mittels direkter Riemenübertragung paarweise von vier Dampfmaschinen (System Armington-Sims) von je 60 PS und 275 Umdrehungen angetrieben. Ein solcher Maschinensatz reichte zur Versorgung von zwei Reihen von je 35 Bogenlampen für Strassenbeleuchtung aus.

Die beiden Wechselstrommaschinen, denen unter Verwendung von Transformatoren ausschliesslich die Stromlieferung an zwei Theater zufiel, waren ebenso wie die Edisonschen Gleichstrommaschinen mit je einer Dampfmaschine von 150 PS direkt gekuppelt und wiesen bei 250 Umdrehungen eine Leistung von 40 Amp. bei 2000 Volt Spannung auf. Der für diese Maschinen erforderliche Erregerstrom wurde einer Edisonschen Gleichstrommaschine entnommen, während die Regulierung der Spannung durch Kompensatoren erfolgte.

Für die Dampferzeugung sorgten 10 Wasserrohrkessel (System Babcock & Wilcox) von je 156 m², die in ähnlicher Weise wie bei den ersten Edison-Centralen im mittleren Stockwerk über den Maschinen aufgestellt waren, während das obere Stockwerk ein Laboratorium und Lagerräume enthielt.

Die alte Mailänder Centrale gehört infolge der Verwendung von drei verschiedenen Systemen der Stromerzeugung und Verteilung (Gleichstrom für niedrige Spannung mit Parallel-Schaltung der Lampen, Gleichstrom für hohe Spannung mit Hintereinander-Schaltung der Lampen, sowie Wechselstrom für

hohe Spannung mit Benutzung von Transformatoren) zu den interessantesten alten Centralen. — Sie hat im Laufe der Zeit vielfache Umwandlungen erfahren und ist dann vor einigen Jahren vollkommen umgebaut worden.



g. 13

An Stelle der alten Centrale in der Via Sta. Radegonda befindet sich jetzt eine Unterstation, die mit einer grossen Akkumulatoren-Batterie und einer grösseren Anzahl von Drehstrom-Gleichstrom-Umformern (Fig. 14) ausgerüstet ist, und im wesentlichen zur Stromlieferung für Strassenbahnzwecke dient.

7. Berlin.

Die erste elektrische Centrale in Deutschland besass Berlin. Allerdings verdankt die Reichshauptstadt diesen Vorzug in erster Linie nicht ihrer Verwaltung, sondern vielmehr dem tatkräftigen Vorgehen der von dem jetzigen Generaldirektor der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Herrn Geh. Baurat Emil Rathenau, im Jahre 1883 gegründeten Deutschen Edison-Gesellschaft für angewandte Elektrizität.

Herr Rathenau hatte sich, in der richtigen Erkenntnis der Vorzüge und der grossen Zukunft der elektrischen Glühlicht-Beleuchtung, die Ausnutzung der Edisonschen Patente allein und des Hopkinsonschen Patentes für die Anwendung des Dreileitersystemes gemeinsam mit der Firma Siemens & Halske, die auf Grund eines Vertrages die sämtlichen Maschinen für die ersten Berliner Centralen baute, gesichert und zunächst eine Studiengesellschaft ins Leben gerufen, deren Aufgabe es war, auf dem Gebiet der elektrischen Beleuchtung Versuche in grösserem Massstabe anzustellen, um die hierbei gesammelten Erfahrungen für den Bau grösserer Centralanlagen verwenden zu können.

Unter den wichtigeren Versuchsanlagen der Deutschen Edison-Gesellschaft ist die elektrische Station in der Friedrichstrasse in Berlin zu nennen, die bei ihrer Inbetriebsetzung am 13. September 1884 zur Versorgung von 2000 Glühlampen von 16 Kerzen und 18 Bogenlampen mit vier Glühlichtmaschinen und drei Bogenlichtmaschinen ausgestattet war. Als eine „Centralstation“ in unserem Sinne kann diese Anlage nicht betrachtet werden, da sie zunächst nur für den Häuserblock bestimmt war, in dem sie selbst lag.

Die Deutsche Edison-Gesellschaft und die aus ihr hervorgegangene Gesellschaft „Städtische Elektrizitätswerke“, die ihren Namen später in „Aktiengesellschaft Berliner Elektrizitätswerke“ abänderte, waren es, die innerhalb weniger Jahre in den Berliner Elektrizitätswerken eine Anlage geschaffen haben, die nicht nur in technischer, sondern auch in jeder anderen Hinsicht als musterhaft bezeichnet werden muss und an Grossartigkeit ihrer Ausführung ihresgleichen sucht.

Der Berliner Stadtverwaltung gebührt das Verdienst, als die Deutsche Edison-Gesellschaft um die Erteilung der Konzession zur Beleuchtung eines Teiles des Stadtgebietes nachsuchte, die Frage ihrer hohen Bedeutung entsprechend gewürdigt und nach vorsichtigen Erwägungen und Verhandlungen in den städtischen Körperschaften durch Erteilung der gewünschten Konzession auf 30 Jahre denjenigen Weg eingeschlagen zu haben, der den Interessen der Bürgerschaft und der städtischen Finanzen entsprach und nach Lage der Verhältnisse als der richtige zu bezeichnen ist.

Da die Centralen der Berliner Elektrizitätswerke in einem von dem kaiserlichen Regierungsrat, Herrn Gustav Kemmann, verfassten Werke „Die Berliner Elektrizitätswerke bis Ende 1896“, sowie in der Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. in sehr ausführlicher Darstellung geschildert worden sind, möge hier nur kurz auf die ersten Anfänge der innerhalb kurzer Zeit zu so blühender Entwickelung gelangten Berliner Centralen hingewiesen werden.

Im Herbst 1884[1]) wurde mit dem Bau der ältesten deutschen Centrale, der Station der Berliner Elektrizitätswerke in der Markgrafenstrasse, begonnen, und am 15. August 1885 wurde der Betrieb dieser Centrale mit etwa 3000

1) Vgl. Kemmann, Die Berliner Elektrizitätswerke, 1897.

angeschlossenen Lampen eröffnet. Ein halbes Jahr später, im Mai 1886, erfolgte die Betriebseröffnung der zweiten, in der Mauerstrasse gelegenen, Centrale der Berliner Elektrizitätswerke.

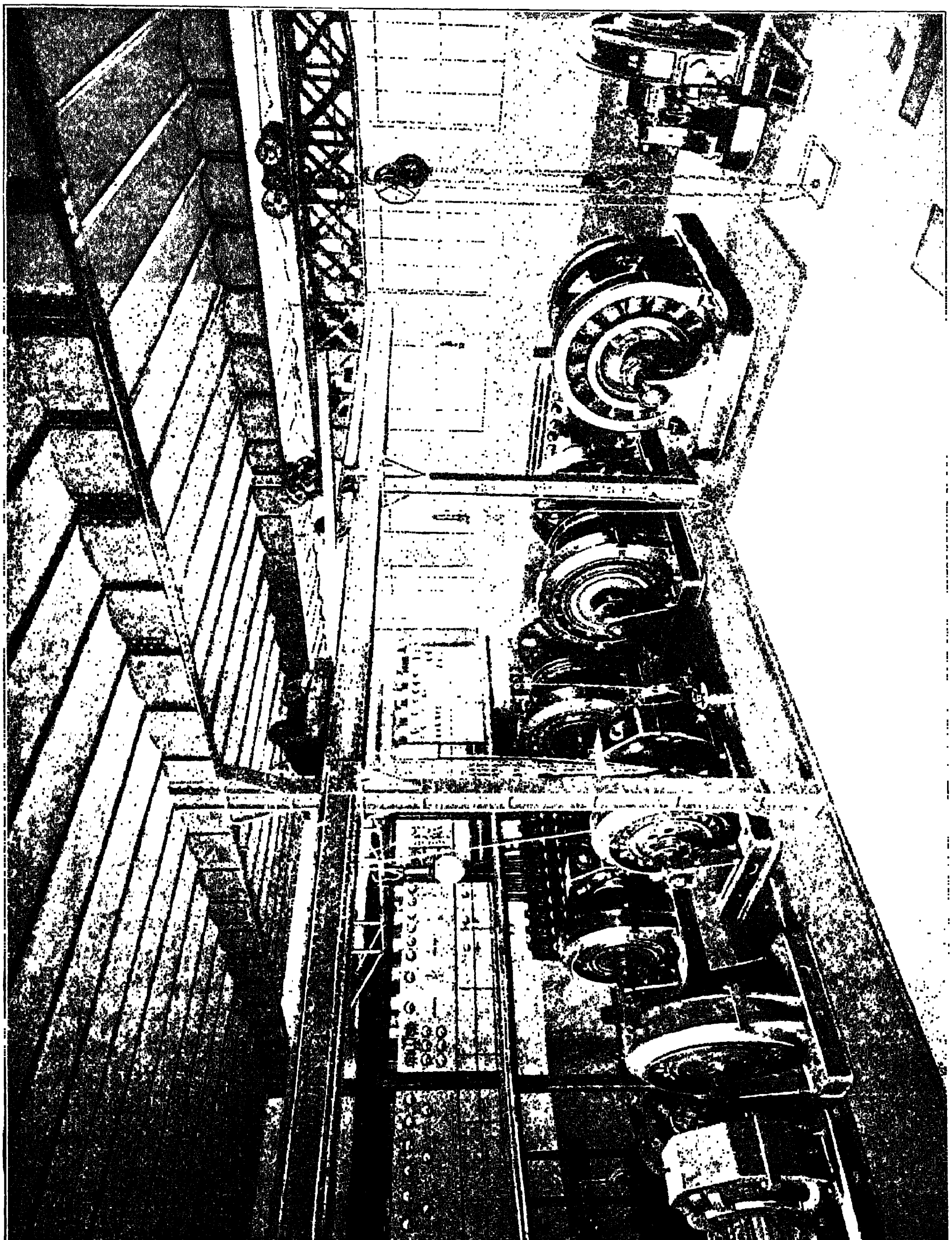


Fig. 14. Umformer-Station der neuen Centrale in Mailand.

Der Umfang dieser beiden Berliner Stamm-Centralen ist beim Vergleich mit der heutigen Ausdehnung der Berliner Elektrizitätswerke, die in sechs Centralen und sechs Unterstationen an Maschinen und Akkumulatoren über eine Leistung von mehr als 110 000 KW verfügen, sowohl hinsichtlich der

Leistung der maschinellen Anlagen wie auch der Ausdehnung der Stromversorgungsgebiete als recht bescheiden zu bezeichnen und beweist, mit welcher Vorsicht man damals sogar bei der Projektierung elektrischer Centralanlagen für den lichtbedürftigsten Teil der grössten deutschen Stadt glaubte vorgehen zu müssen. Man ahnte nicht, dass die Berliner Centralen zwanzig Jahre nach ihrer Eröffnung bereits eine Jahresproduktion an Strom von 122 799 413 KWStd aufweisen würden, wovon 98 501 404 KWStd nutzbar verwertet worden sind, und zwar 16 727 266 KWStd für Privatbeleuchtung, 2 016 797 KWStd für öffentliche Beleuchtung, 30 326 974 KWStd für gewerbliche Anlagen, 3 245 878 KWStd für Akkumulatoren-Anlagen der Konsumenten, 45 166 449 KWStd für Strassenbahnen und 1 018 040 KWStd für eigenen Bedarf. Ebenso gewaltig sind die diesem Stromverbrauch entsprechenden Anschlusswerte, welche am 30. Juni 1904 530 581 Glühlampen, 22 211 Bogenlampen, 12 933 Motoren mit 46 791 PS und 1697 Apparate aufwiesen, deren Gesamt-Äquivalent ausschliesslich der Strassenbahnen 80 643 KW betrug.

Wegen der im Centrum der Stadt enorm hohen Kosten für Grunderwerb entschloss man sich in den Centralen Markgrafen-, Spandauer-, Rathaus- und Louisenstrasse das Kesselhaus über dem Maschinenhaus anzuordnen.

Die Centrale in der Markgrafenstrasse war ursprünglich mit fünf Dampfkesseln von je 175 m^2 Heizfläche und sechs stehenden Verbund-Dampfmaschinen für eine Leistung von je 150 effektiven PS ausgestattet; jede Dampfmaschine lieferte vermittels direkter Riemenübertragung den Antrieb für zwei Dynamomaschinen System *Edison-Hopkinson* mit einer Leistung von 41 KW bei 110 Volt. Kessel und Dampfmaschinen stammten aus der Borsigschen Maschinenfabrik, die Dynamomaschinen aus der Fabrik von Siemens & Halske.

In gleicher Anordnung und unter Verwendung der gleichen Kessel- und Maschinentypen war anfangs die Centrale in der Mauerstrasse ausgeführt, nur belief sich die Zahl der Kessel und Dampfmaschinen zunächst nur auf je drei und diejenige der Dynamomaschinen dementsprechend auf sechs.

Hinsichtlich der Stromverteilung unterschieden sich die beiden Centralen, die zunächst vollkommen getrennte Leitungsnetze besassen, nicht; beide Anlagen waren nach dem Zweileitersystem (110 Volt) eingerichtet und wurden erst nachträglich durch Hinzulegung eines Nullkabels für das Dreileitersystem (2×110 Volt) umgewandelt.

Die ersten Leitungsnetze wurden unter Benutzung von armierten Bleikabeln aus der Fabrik von Siemens & Halske unterirdisch verlegt.

Die Verwendung von Bleikabeln, die für moderne Elektrizitätswerke grösseren Umfanges bekanntlich das normale Material für Leitungen bilden, bedeutete gegenüber dem Edisonschen Leitungsmaterial einen eminenten Fortschritt und gab erst die Möglichkeit, unter Wahrung eines hohen Isolationswiderstandes grössere Stadtbezirke mit unterirdisch verlegten Leitungen auszustatten.

Während man sich für die Zu- und Abschaltung der Dynamomaschinen nach dem Vorbilde von Edison noch der Lampenbatterien bediente, entsprachen die Schalt- und Messapparate im wesentlichen der Anordnung, die noch heute in Centralen die übliche ist.

Bemerkenswert ist die Thatsache, dass sich die Direktion der Berliner Elektrizitätswerke, die lange Zeit ganz ohne Akkumulatoren, also mit reinem

Maschinenbetrieb, gearbeitet hatten, in den letzten Jahren entschlossen hat, ausser den für den Strassenbahnbetrieb unentbehrlichen Pufferbatterien, deren Leistung allein 5000 KW beträgt, auch für die Lichtnetze Batterien von solcher Leistung (über 11000 KW) anzuschaffen, dass die Gesamtleistung der

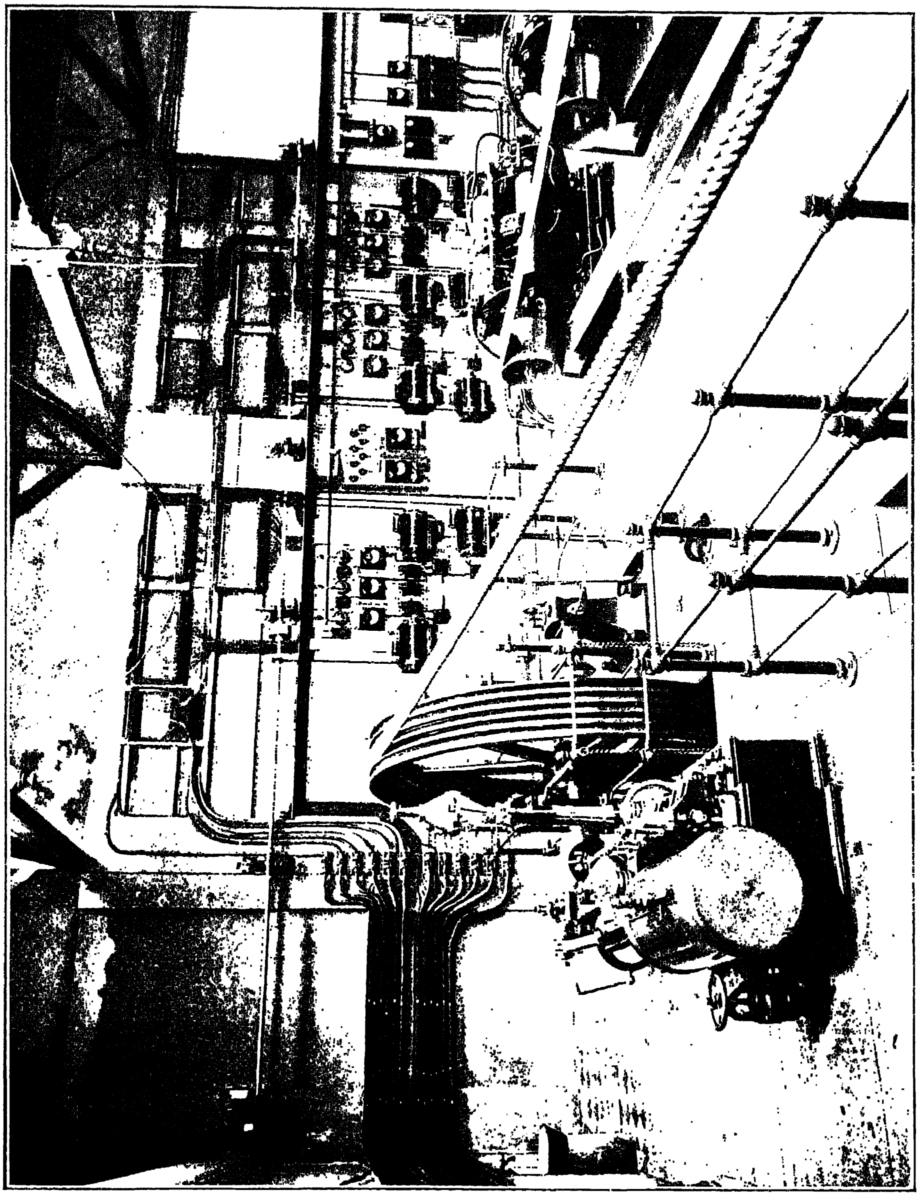


Fig. 15. Maschinenhaus der alten Centrale in Lübeck

in den Stationen der Berliner Elektrizitätswerke aufgestellten Akkumulatoren-Batterien sich jetzt auf $22^1/_2$ % der Maschinenleistung einschliesslich der Umformer, jedoch ausschliesslich der Drehstromgeneratoren, stellt.

Die erste deutsche Stadt, die trotz der höchst pessimistischen Anschauungen, die in jener Zeit über die wahrscheinlichen Erfolge elektrischer Centralen vielfach in Zeitungen und Schriften zum Ausdruck gebracht wurden, Lübeck.

den Mut hatte, den Bau und Betrieb einer elektrischen Centrale auf städtische Kosten zu beschliessen, war die freie Hansestadt Lübeck. Trotzdem dieser Beschluss schon im Juli 1886 gefasst worden war, wurde das Werk, da sich die Auftragerteilung an die Firma SCHUCKERT in Nürnberg verzögert hatte, erst im Frühjahr 1887 in Angriff genommen, und am 15. November desselben Jahres dem Betrieb übergeben. Infolge dieser Verzögerung kam das Elektrizitätswerk in Elberfeld, das von der Firma SIEMENS & HALSKE in Charlottenburg auf Kosten der Stadt erbaut und durch letztere von Anfang an betrieben wurde, früher als das Lübecker Werk zur Eröffnung, so dass das Elberfelder Werk als die älteste städtische Centralanlage zu bezeichnen ist.

Die Anordnung und Leistung der Lübecker Centrale war für reichlich kleine Verhältnisse zugeschnitten. Ein Blick auf die in den Fig. 15 u. 16 in zwei Hälften dargestellte Maschinenanlage dieser Centrale giebt schon ein Bild von deren bescheidenem Umfang.

Von der Erwägung ausgehend, dass bei der Verwendung direkter Kuppelung oder direkter Riemenverbindung zwischen Dampf- und Dynamomaschine das Defektwerden eines Teiles — einer Dampf- oder einer Dynamomaschine — den ganzen durch Kuppelung oder Riemen verbundenen Maschinensatz betriebsunfähig macht, entschloss man sich ungeachtet der mit einem solchen Betrieb verbundenen ganz bedeutenden Kraftverluste zur Zwischenschaltung einer Transmission. Auf eine an der einen Längswand durch das ganze Maschinenhaus laufenden Welle arbeiteten mit Seilübertragung drei Dampfmaschinen, während von dieser Hauptwelle aus vier Dynamomaschinen vermittels Riemen angetrieben wurden.

Die Dampferzeugung erfolgte durch drei nach dem System HEINE von der BORSIGschen Maschinenfabrik gelieferte Kessel mit je 70 m² Heizfläche.

Die drei Dampfmaschinen waren als liegende Verbundmaschinen mit Kondensation und Ventilsteuerung von der Nürnberger Maschinenbau-Aktiengesellschaft gebaut. Die Leistung zweier Maschinen betrug bei 85 Umdrehungen in der Minute und 7 Atm. Überdruck im Hochdruckcylinder 115 PS, während die dritte für die kleinen Belastungen des Netzes vorgesehene Maschine nur für 50 PS bemessen war.

Als Dynamomaschinen kamen vier SCHUCKERTsche Flachringmaschinen mit gemischter Magnetwicklung für eine Leistung von je 42 KW zur Verwendung.

Während in den älteren bisher erwähnten Centralen ausschliesslich elektrische Maschinen mit Nebenschlusswicklung Verwendung fanden, hielt es also die Firma SCHUCKERT im Interesse einer gleichmässigen Netzspannung für ratsam, Maschinen mit gemischter Magnetwicklung zu benutzen.

Für die Stromverteilung war in Anbetracht der günstigen Lage der Centrale, ziemlich mitten im Konsumgebiet, und der kleinen Ausdehnung des letzteren — die gesamte Leitungslänge belief sich auf 10 km bei einer Entfernung der am weitesten abliegenden Konsumstellen von 550 m von der Centrale — das Zweileitersystem mit einer Verbrauchsspannung von etwa 103 Volt gewählt worden. Neun Speiseleitungen, in welche selbsttätige Spannungsregulatoren der in Fig. 17 angegebenen Konstruktion eingeschaltet waren, führten dem Verteilungsnetz den Strom zu.

Die Anordnung der für die kleine Anlage verhältnismässig umfangreichen Apparatenwand (Schalttafel), die sich übrigens durch grosse Bequemlichkeit für die Bedienung und gute Übersichtlichkeit auszeichnete, ergiebt sich aus

Fig. 15; insbesondere sind die neun Spannungsregulatoren, die von einer oberhalb liegenden gemeinsamen Welle angetrieben und durch Relais betätigt wurden, nebst den zugehörigen Widerständen deutlich erkennbar.

Für das Leitungsnetz, das für einen Energieverlust von 15 Volt in den Speiseleitungen und 1·5 Volt in den Verteilungsleitungen berechnet war, kamen

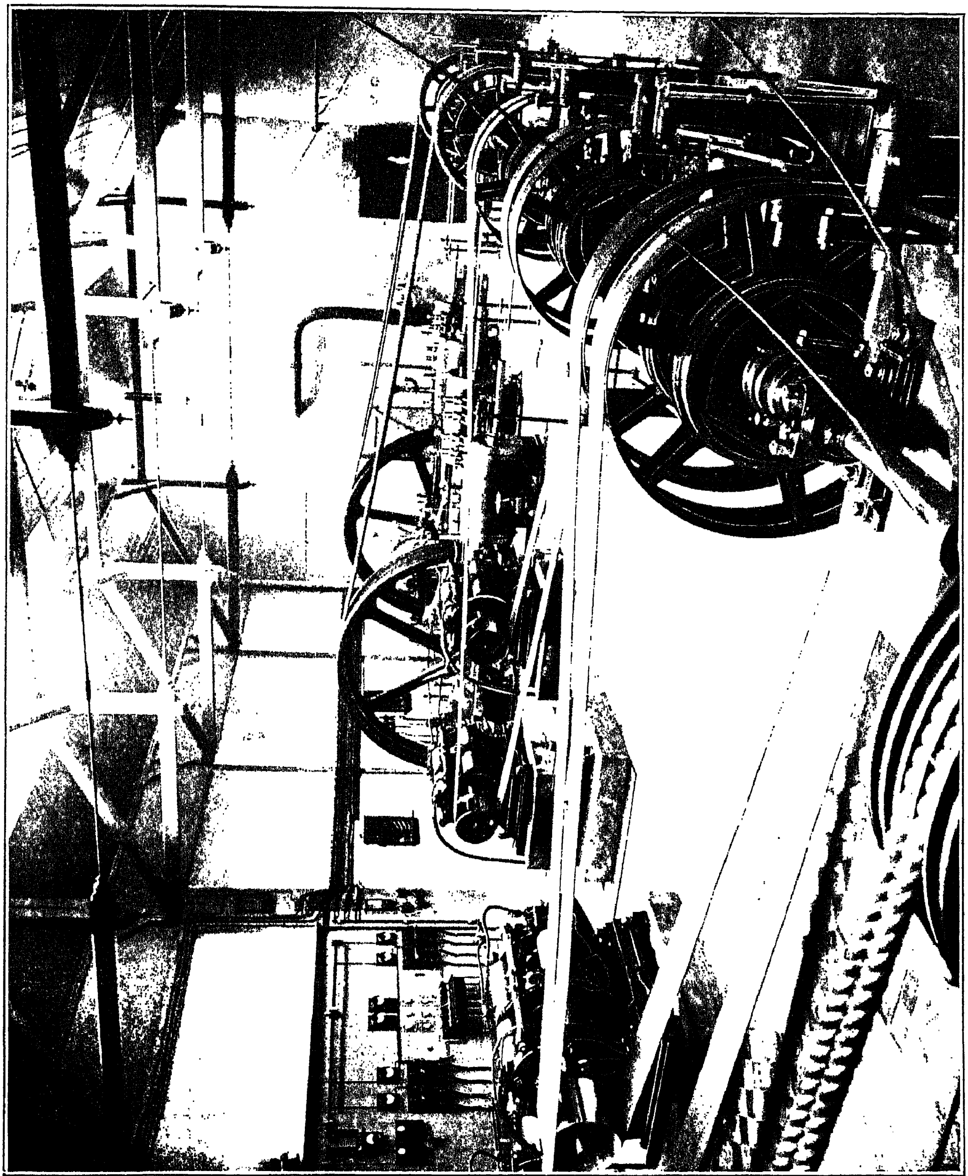


Fig. 16. Maschinenhaus der alten Centrale in Lübeck.

ausschliesslich Kabel mit doppeltem Bleimantel ohne Armierung zur Verwendung, die in einem U-Eisen verlegt und mit Eisenplatten abgedeckt waren.

Die ganze Anordnung der Lübecker Anlage, insbesondere die Art des Antriebs der Dynamomaschinen, die Verwendung von Compounddynamomaschinen und die vorsichtige Verlegung der Kabel beweist, dass es der

Firma SCHUCKERT in erster Linie darauf ankam, eine nach dem damaligen Stand der Elektrotechnik möglichst betriebssichere Anlage zu bauen.

Dass die umständliche Art der Verbindung von Dampf- und Dynamomaschinen, für welche bei einer Leistung von 300 PS ein Maschinenhaus erforderlich war, in welchem man heute mehr als 3000 PS hätte unterbringen können, verhältnismässig hohe Anlage- und Betriebskosten erfordert, wusste man wohl, glaubte aber diese finanziellen Opfer zu Gunsten der Betriebssicherheit der ganzen Anlage nicht scheuen zu sollen.

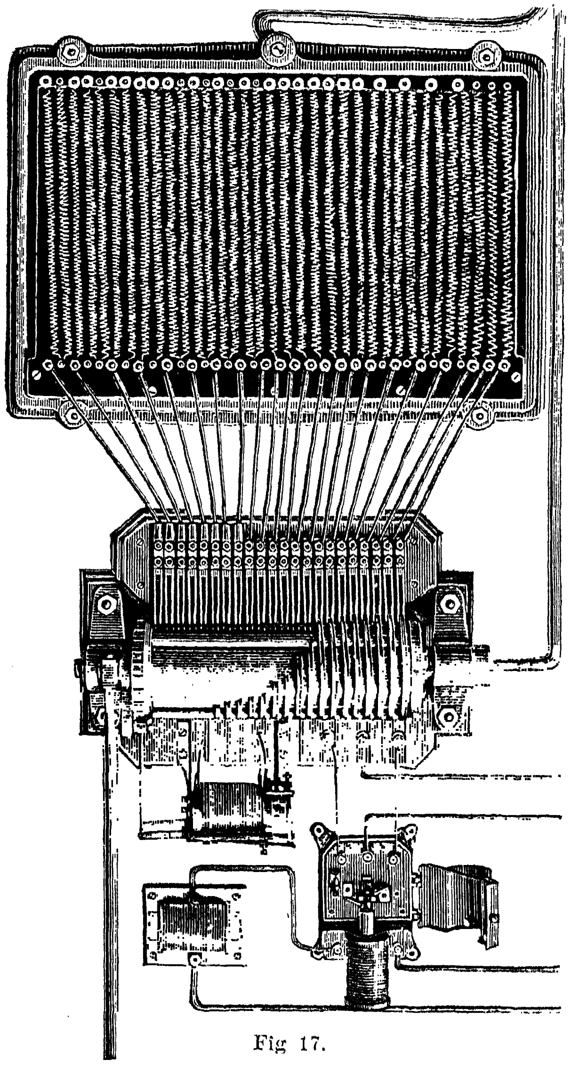


Fig 17.

Nachdem im Jahre 1888 eine fünfte Dynamo von 42 KW den vorhandenen zugefügt worden war, entschloss man sich bereits im Jahre 1891, das Elektrizitätswerk einem Umbau zu unterziehen, und die Stromverteilung nach dem Dreileitersystem einzurichten.

9. Elberfeld. Das, wie schon erwähnt, kurz vor der Lübecker Anlage in Betrieb genommene Elberfelder Elektrizitätswerk wurde nach dem HOPKINSON-schen Dreileitersystem für eine Verbrauchsspannung von 2 × 110 Volt erbaut. Dieses Werk ist von besonderem Interesse, weil es das erste war, das von vornherein nach dem Dreileitersystem eingerichtet wurde, und zwar unter Verwendung von dreifach konzentrischen Kabeln für die beiden Aussen- und den Mittelleiter, eine Anordnung, die später nur noch in einzelnen Fällen gewählt wurde, da die Verwendung von drei Einfachkabeln, also eines besonderen Kabels für jeden Aussenleiter und den Mittelleiter, die Montage der Kabel entschieden einfacher gestaltet.

Ausgestattet mit sechs stehenden Verbunddampfmaschinen aus der Maschinenfabrik KUHN in Stuttgart-Berg von je 200 PS, jede für direkten durch Riemen vermittelten Antrieb von zwei SIEMENS schen Nebenschlussmaschinen der Type *LH* erinnert die Centrale in ihrer Gesamtanordnung (Fig. 18) an die ersten Berliner Anlagen in der Markgrafen- und Mauerstrasse. Die Kabel waren mit Eisenbandarmierung versehen und konnten daher im

Gegensatz zu den in Lübeck verlegten Kabeln ohne besonderen Schutz durch Eisenbedeckung oder ähnliche Vorrichtungen in den Erdboden eingebettet werden. Die Querschnitte der Speise- und Verteilungskabel waren

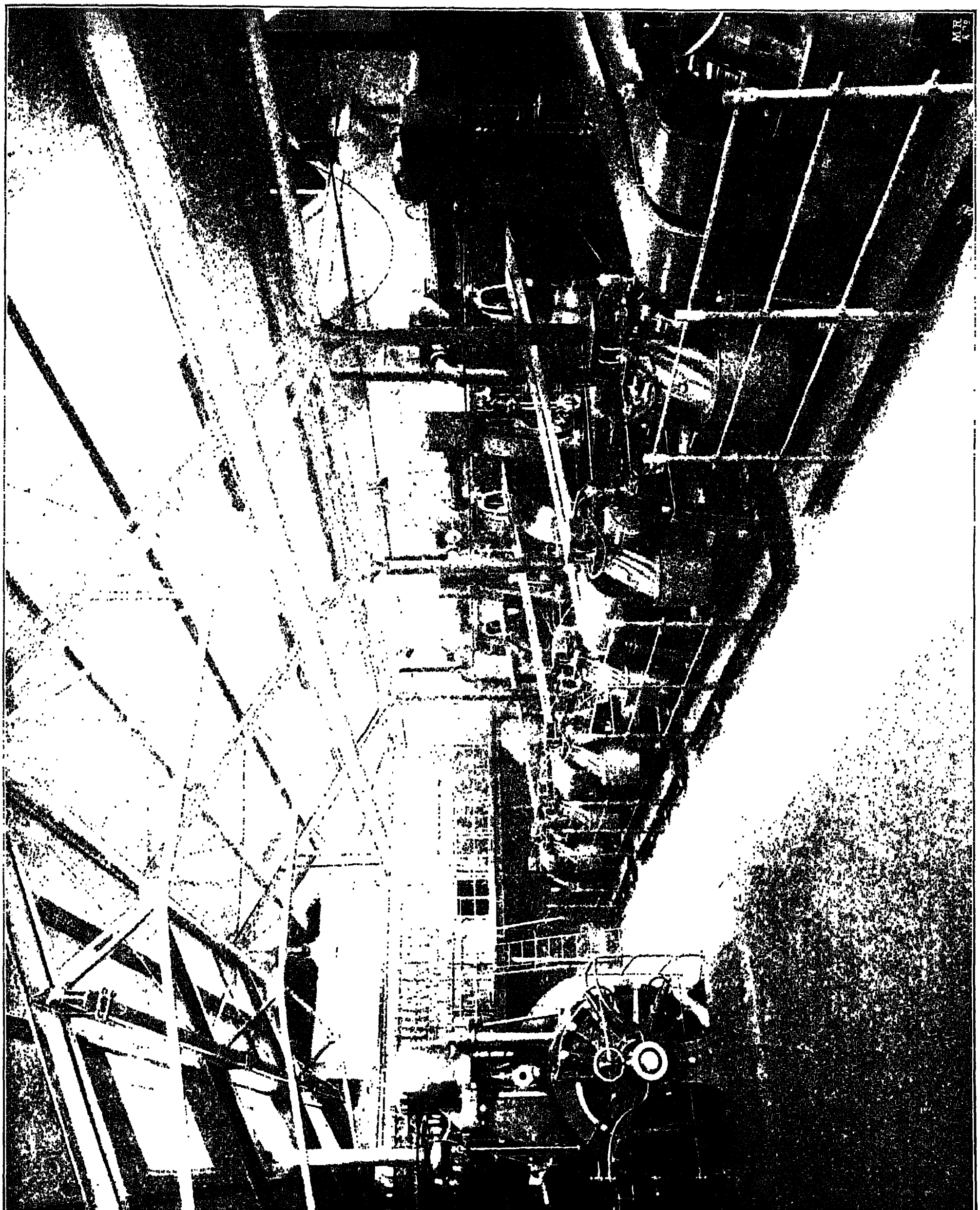


Fig. 18. Maschinenhaus der alten Centrale in Elberfeld.

so bemessen, dass von einer Sonderregulierung der Spannung an den einzelnen Speisepunkten beziehungsweise den Speisekabeln verzichtet werden konnte; es wurde also in der Centrale auf eine mittlere Spannung reguliert.

Von dem kleinen Maschinenmodell, das man wegen der sehr variablen, zum Teil recht unbedeutenden Belastung in den Tagesstunden gewählt hatte, ging man schon bei der ersten Erweiterung der Centrale ab, indem man sich zur Aufstellung eines, aus einer stehenden KUHN schen Verbunddampfmaschine von 300 PS und zwei direkt gekuppelten SIEMENS schen Innenpol-Nebenschlussmaschinen der Type J, jede für 900 Amp. bei 120 Volt, bestehenden Maschinenaggregates entschloss. Ein zweites Aggregat gleicher Art und Grösse wurde im Jahr 1890 aufgestellt. Der eine dieser beiden Maschinensätze ist auf der Fig. 18 auf der linken Seite vor der Schalttafel, die der besseren Übersicht wegen auf einer erhöhten Galerie angebracht war, zu erkennen.

10. Dessau. In der Natur der Sache liegt es, dass auch die Gasgesellschaften der Entwickelung der Elektrizitätswerke ein reges Interesse entgegenbrachten, da doch zunächst das von den Elektrizitätswerken eroberte Konsumgebiet den Gasanstalten entzogen wurde, und es ist nur zu natürlich, dass von dieser Seite der Vorschlag, Gasmotoren als Antriebsmaschinen für Elektrizitätswerke zu verwenden, um indirekt den Ausfall an Gas wieder zu gewinnen, eingehende Würdigung fand. Wenngleich die im Anfang der achtziger Jahre bei Einzelanlagen mit der Verwendung von Gasmotoren zur Erzeugung elektrischer Energie gemachten Erfahrungen wegen der durch unvollkommene Regulierung und ungenügenden Gleichförmigkeitsgrad bedingten merklichen Schwankungen der Lichtstärke nicht gerade zu einem Versuch im grossen ermutigen, ausserdem Gasmotoren bis dahin nur in den bescheidenen Grössen bis zu etwa 25—30 PS gebaut waren, wagte es doch die Deutsche Continental-Gasgesellschaft, als im Jahre 1885 die Einführung elektrischer Beleuchtung zunächst für das Hoftheater und die herzoglichen Schlösser zu Dessau in Erwägung gezogen wurde, ein Elektrizitätswerk unter Verwendung von Gasmotoren in einer damals noch nicht bekannten Grösse von 60 PS zu bauen, welches nach kaum halbjähriger Bauzeit im Herbst 1886 in Betrieb gesetzt wurde. Den motorischen Teil lieferte die Gasmotorenfabrik Deutz bezw. deren Licenzträgerin, die Berlin-Anhaltische Maschinenbau-Aktiengesellschaft zu Dessau, die elektrische Ausrüstung der Centralstation wurde von der Deutschen EDISON-Gesellschaft, der späteren Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin ausgeführt, während das Kabelnetz von SIEMENS & HALSKE gebaut wurde. Zur Aufstellung gelangten zwei Stück 60 PS-, ein Stück 30 PS- und ein Stück 8 PS-Motore. Die Unterteilung in so verschiedene Grössen war erforderlich, um bei wechselndem Konsum im Interesse der Ökonomie stets mit gut belasteten Motoren arbeiten zu können. Die Gasmotoren, mit Ausnahme des achtpferdigen, arbeiteten zunächst auf eine schwere Transmission, von der aus der Antrieb der vier Dynamos durch ausrückbare Kuppelungen erfolgte. Der achtpferdige Gasmotor diente in der Hauptsache zum Antrieb der grösseren Motoren und zum Betrieb einer kleinen Wasserpumpe, ausserdem aber auch zur Lichtlieferung für die Tagesproben im Hoftheater.

Zur Kühlung der Gasmotoren dienten drei untereinander und mit sämtlichen Gasmotoren verbundene Luftkühlgefässe von insgesamt 100 m² Kühlfläche. Zur Regelung der Temperatur und Überwindung der beträchtlichen Reibungswiderstände in den Kühlleitungen war zwischen Kühlgefässen und Motoren ein Injektor eingeschaltet, welcher durch Wasser aus der städtischen Wasserleitung betrieben wurde. Durch die Luftkühler gelang es, den Wasser-

verbrauch der Motoren einschliesslich des nicht unbedeutenden Verbrauches für Kühlung der Dynamolager im Jahresdurchschnitt auf 23—24 l pro PS-Stunde herabzumindern.

Zur Verminderung der Tourenschwankungen, welche trotz einer kleinen DE KHOTINSKY-Akkumulatorenbatterie sich im Licht noch bemerkbar machten, wurden die Schwungmassen der Gasmotoren bedeutend verstärkt, ferner die Transmissionswelle und die Dynamowellen mit Schwungrädern ausgerüstet.

Eine andere Schwierigkeit stellte sich im Betriebe ein durch das von den Gasmotoren erzeugte starke Auspuffgeräusch, das zu vielen Klagen seitens der Nachbarschaft führte. Auch diese Schwierigkeit wurde glücklich überwunden, indem man die Auspuffrohre am Ende schloss und seitlich mit einer grossen Anzahl von Löchern versah, deren Gesamtquerschnitt den des Rohres mehrfach überstieg. Diese Austrittsöffnungen wurden zur Erhöhung der schalldämpfenden Wirkung mit einem von Steinstücken angefüllten eisernen Kasten umgeben. Die durch diese Massnahmen erreichte Schalldämpfung war so vollkommen, dass man ausserhalb des Maschinengebäudes nach dem Gehör kaum unterscheiden konnte, ob die Motoren liefen oder nicht.

Weitere Schwierigkeiten brachte die Schieberzündung der Motoren mit sich, welche bei dem geringsten Undichtwerden versagte und häufiges, zeitraubendes Nachschaben erforderlich machte.

Im Sommer 1889 wurde die alte Batterie durch eine grössere von 1700 Amp.-Std. Kapazität ersetzt, wodurch die Betriebsverhältnisse auf das günstigste beeinflusst wurden, indem die Betriebsstunden der Gasmotoren reduziert werden konnten, und die Ökonomie stieg, weil die Gasmotoren nunmehr stets voll belastet werden konnten. Es ergab sich im praktischen Betriebe gleichsam von selbst, dass nach Aufstellung der grossen Akkumulatorenbatterie der 8 PS- und 30 PS-Motor nur noch selten in Betrieb kamen, und zwar nicht wie früher in den Perioden mit geringem Konsum, sondern im Gegenteil nur während einzelner Stunden des Maximalkonsums.

Im folgenden Jahre, als eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Centrale erforderlich wurde, tat man einen weiteren, ebenfalls grossen Wagemut bekundenden Schritt vorwärts, durch Aufstellung von zweicylindrigen 120 PS-Gasmotoren, welche mit den Dynamos direkt gekuppelt waren was eine bedeutende Raumersparnis zuliess und durch Fortfall der Transmission mit dem Riemenbetrieb und den komplizierten Kuppelungen wesentliche Ersparnisse zur Folge hatte. Die inzwischen im Gasmotorenbau gemachten Fortschritte fanden naturgemäss hierbei Anwendung. So wurde die unzuverlässige Schieberzündung durch die elektrische Zündung, welche die Glührohrzündung noch übertrifft, ersetzt; ferner wurde die Ökonomie wesentlich gesteigert durch Anwendung höherer Kompressionen, durch verbesserte Vorrichtungen zur Mischung des Gases mit der Luft, durch präzisere Zündung u. s. w. Welch bedeutenden Einfluss diese Verbesserungen auf den Gasverbrauch ausübten, geht aus folgenden Zahlen hervor:

Gasverbrauch pro PS und Stunde:	1887	953 l,
„ „ „ „ „	1890	750 l,
„ „ „ „ „	1896	669 l,
„ „ „ „ „	1902	543 l

bei etwa 4800 Wärmeeinheiten pro cbm Gas.

Noch beredter sprechen die Zahlen, welche den Gasverbrauch pro erzeugte KWStd angeben; derselbe betrug:

Gasverbrauch pro erzeugte KWStd:	1887	2158 l,
" " " "	1890	1491 l,
" " " "	1896	1099 l,
" " " "	1902	829 l.

Die nächste Erweiterung des Elektrizitätswerkes wurde durch eine Akkumulatoren-Unterstation in etwa 1 km Entfernung von der Hauptstation mit einer Leistung von 35 KW während 5 Stunden vorgenommen. Zu dieser

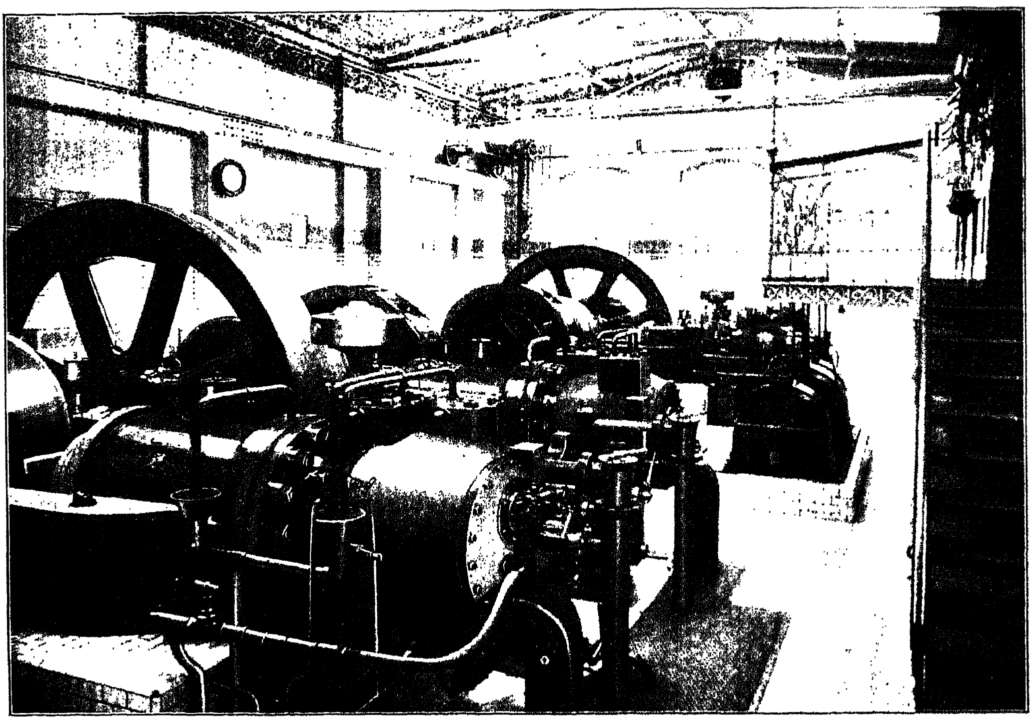


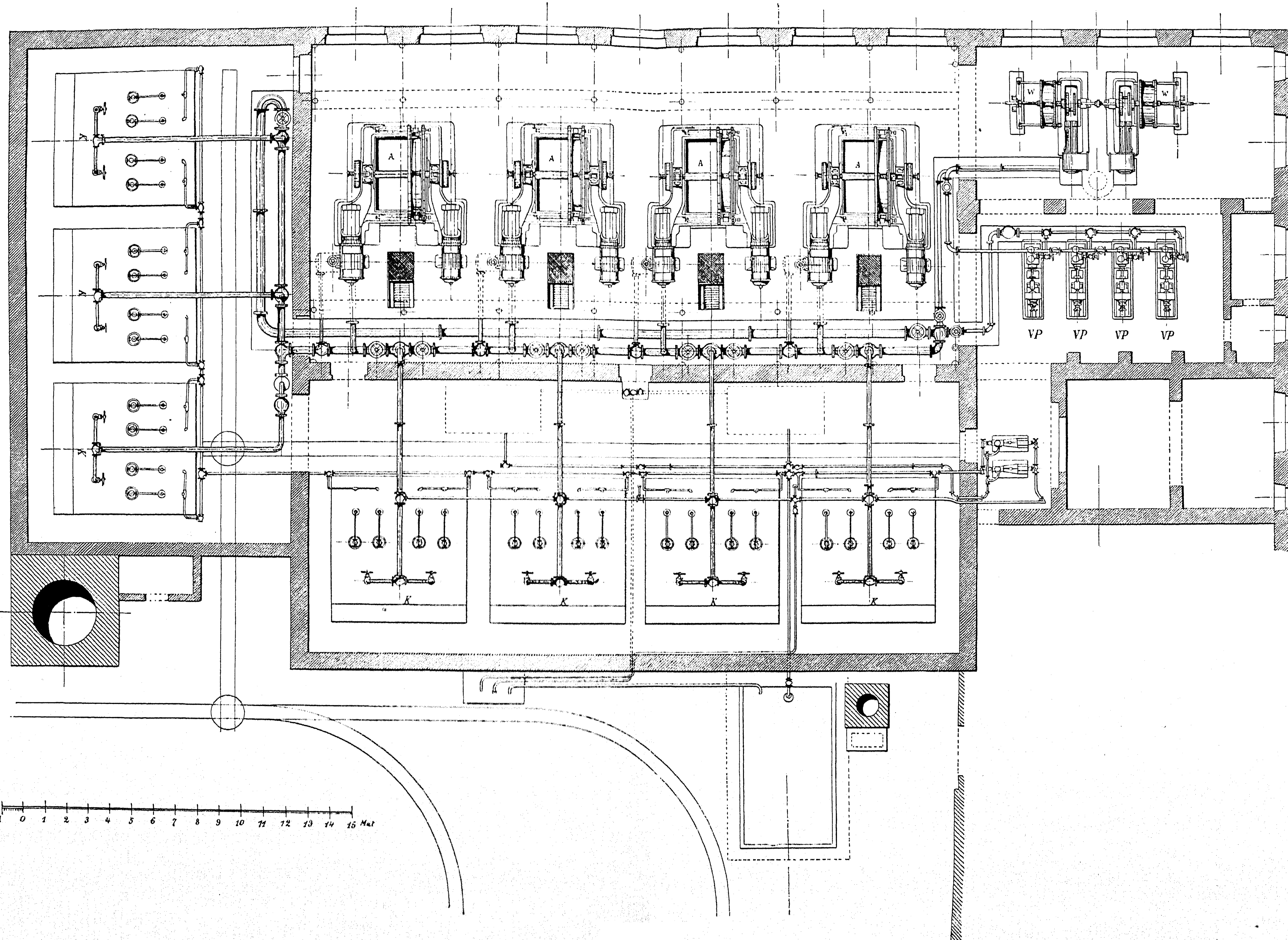
Fig. 19. Maschinenraum des Elektrizitätswerkes Dessau.

Unterstation baute man ein Kabelnetz nach dem Dreileitersystem mit 2 × 110 Volt, während die ursprüngliche Anlage nach dem Zweileitersystem betrieben wurde.

Ein weiterer Fortschritt war zu verzeichnen, als im Jahre 1900 zwei Stück 225 PS-Gasdynamos für 220 Volt (Fig. 19), welche als Öchelhäusersche Zweitaktmotoren gebaut waren, zur Aufstellung gelangten unter gleichzeitiger Umschaltung des alten Zweileiternetzes auf das Dreileitersystem.

Da sich weiterhin wesentliche Verbesserungen in der Gasmotorentechnik durch die sogenannten Sauggasanlagen ergaben, machte sich das Elektrizitätswerk auch diese Neuerung zu nutze und stellte kürzlich eine solche Sauggasanlage für den noch vorhandenen 125 PS-Motor in Betrieb.

Es ist nicht zu leugnen, dass das Dessauer Elektrizitätswerk den Beweis der Wirtschaftlichkeit und der Betriebssicherheit solcher Gaskraftanlagen er-



Grundriss der Centralstation in Rom.

bracht hat; auch lehrt der hier gemachte Versuch, dass Gasmotorcentralen den Vorteil des geringen Raumbedarfes und geringer Anlagekosten geniessen, weil das Grundstück relativ klein und die Lage zum Kabelnetz günstig gewählt werden kann, ferner lässt sich der Betrieb wegen des geringen Personalbedarfes billig führen, wozu noch der Fortfall jeglicher Rauchbelästigung sowie die jederzeitige Betriebsbereitschaft vorteilhaft hinzutritt.

Das älteste unter den von der Firma GANZ & Co. nach dem Wechselstrom-Transformatorensystem erbauten grösseren Elektrizitätswerken ist dasjenige in Rom, welches der „Società anglo-romana per l'illuminazione di Roma col gaz ed altri sistemi“ gehört und im Jahre 1886 in Betrieb gekommen ist. Die in der Nähe des Tiber neben den Ruinen des „Circus

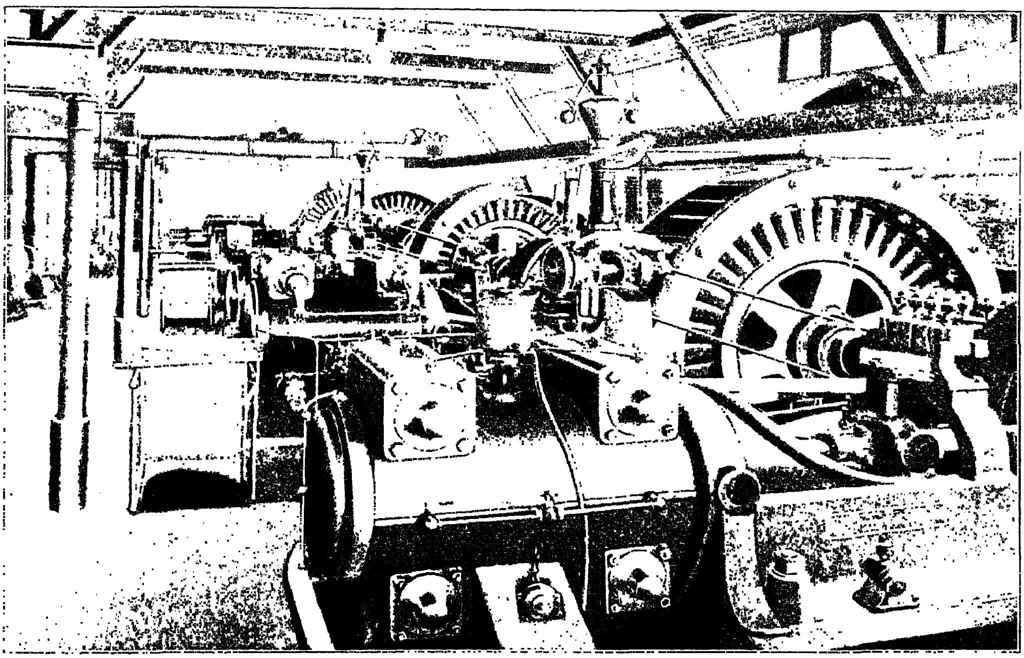


Fig. 20. Teilansicht der Maschinenanlage des Elektrizitätswerkes Rom.

maximus“ erbaute „Stazione di Cerchi“ (Tfl. II) erzeugt in 14 Stück BABCOCK & WILCOX-Wasserröhrenkessel, für rund 2500 PS ausreichend, den nötigen Dampf von $8^1/_2$ Atm. für vier Dampfdynamos à 320 KW, 125 Touren pro Minute und zwei Dampfdynamos à 80 KW, 250 minutliche Umdrehungen, welche einphasigen Wechselstrom von 2000 Volt liefern, der in der Stadt mit Hilfe von Transformatoren auf 105 Volt transformiert wird. Die Erregung der Wechselstrommaschinen erfolgt durch vier vierpolige Dynamos, welche mit den zugehörigen Dampfmaschinen von WESTINGHOUSE und FRANCO TOSI ebenfalls direkt gekuppelt sind (Fig. 20). Zwei der grossen, 1887 aufgestellten Dampfmaschinen stammten von VAN DER KERCHOVE in Gent, während die letzten beiden grossen Dampfmaschinen von der Brünner Maschinenfabrik Aktien-Ges. und die kleineren von GEBR. SULZER in Winterthur gebaut waren.

Die Verteilung des von den parallel geschalteten Wechselstrommaschinen gelieferten Stromes geschieht durch ein unterirdisch verlegtes, aus konzentrischen Kabeln bestehendes Leitungsnetz, dessen Hauptspeiseleitung aus vier parallel geschalteten Kabeln von 1·6 km Länge besteht.

12. Tivoli. Die vorzüglichen Ergebnisse, welche die römische Gesellschaft mit dieser Centrale erzielte, haben in hohem Masse dazu beigetragen, dass dieselbe in Verbindung mit Ganz & Co. noch eine zweite Wechselstromanlage für den grossen Bedarf von Rom in Tivoli errichtete, welche seit dem 4. Juli 1892 in Betrieb steht und dazu dient, durch Ausnutzung der dortigen Wasserkräfte eine Energie von 2000 PS auf eine Entfernung von 28 km zu übertragen.

Die zur Hälfte ausgenutzte Wasserkraft liefert eine Wassermenge von 3·75 cbm/Sekunde bei einem Gesamtgefälle von rund 110 m (Fig. 21), von welchem der oberste Teil in der Höhe von 10 m für lokale Industriezwecke ausgenutzt wird. Von da aus wird das Wasser durch ein Gerinne von 150 m Länge zu einem Turm geführt, welcher ein eisernes Standrohr von 40 m Höhe und 1·6 m Durchmesser enthält. Dieses Rohr ist mit Ringschützen versehen und besitzt am Gerinne ein langes Überfallswehr zur Konstanthaltung des Wasserniveaus. An das untere Ende dieses Rohres schliesst sich ein gleich weites von 50 m Länge an, durch welches das Wasser in das Maschinenhaus (Fig. 22) in Deckenhöhe eingeleitet wird. Von hier aus zweigen drei Querrohre und von diesen je drei vertikale Rohre ab, von welch letzteren die aufgestellten neun Turbinen gespeist werden. Ein vollständig durchgebildetes System von Schiebern, die vom Maschinenhaus aus mittels hydraulischen Druckes betätigt werden können, ermöglicht es, jedes der drei Querrohre, sowie auch jedes der neun Vertikalrohre in wenigen Sekunden abzusperren.

Die Girard-Partialturbinen sind in drei Gruppen angeordnet, deren jede zwei grosse Turbinen à 330 PS mit 170 Umdrehungen/Minute und eine zwischen beiden aufgestellte kleinere von 50 PS mit 375 Umdrehungen pro Minute umfasst, so dass die Gesamtanlage sechs Turbinen à 330 PS und drei à 50 PS enthält. Jede Turbine ist mit einem Regulator, System Ganz & Co., versehen, der die Geschwindigkeit durch Regulierung des Wasserzuflusses konstant erhält. Der Wasserablauf erfolgt unterirdisch. Die sechs grossen Turbinen sind mit je einer Wechselstrommaschine von 200 KW, 5100 Volt, direkt gekuppelt, während die kleineren Turbinen für den Betrieb der drei Erreger à 27 KW, 180 Volt, dienen, von welchen jede für die Erregung von drei Wechselstrommaschinen genügt.

Die Wechselstrommaschinen arbeiten in Parallelschaltung; die Zu- und Abschaltung derselben erfolgt unter Anwendung eines Belastungswiderstandes, der im stande ist, die Leistung einer Maschine aufzunehmen. Die Spannungsregulierung erfolgt selbsttätig unter Vermittlung eines Egalisier-Transformators.

Im Jahre 1899, als bereits in Rom 238 Einzeltransformatorenstationen mit 3460 KW Leistung in Verbindung mit 87·8 km Hochspannungskabeln in Betrieb waren, entschloss man sich, die alte Kraftanlage in Tivoli durch eine neue, bestehend aus sieben Drehstromgeneratoren à 3500 KVA für 10000 Volt 42 Perioden zu ersetzen.[1]) Jeder der Generatoren war befähigt auch einphasigen Wechselstrom bis zu 1400 KVA abzugeben.

1) Vgl. Trasporto di forza Tivoli-Roma 1891—1903 der Società anglo-romana.

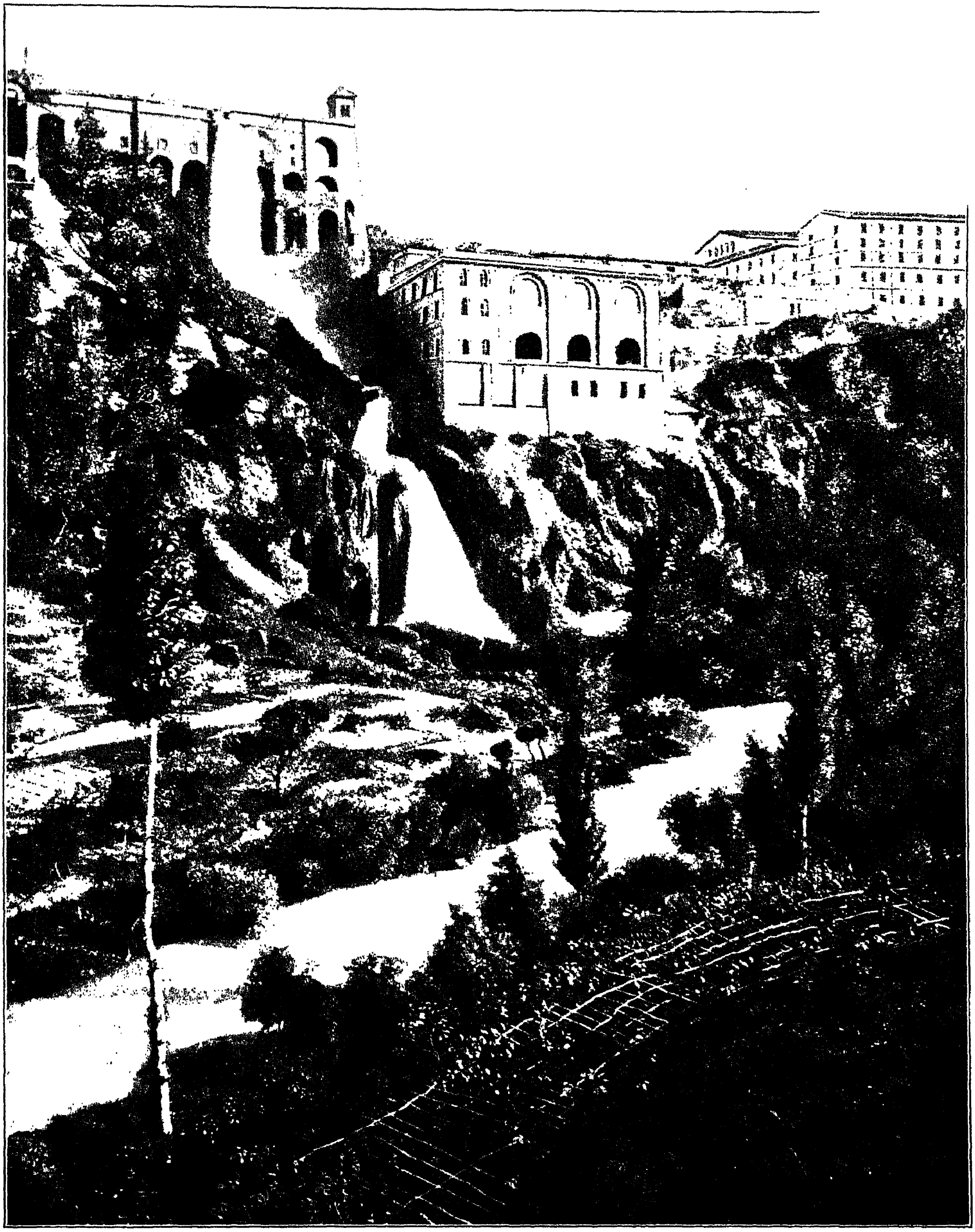


Fig. 21. Centralstation in Tivoli.

Da die verfügbare Leistung der Wasserkraft nur 9800 KW beträgt, so können also entweder alle sieben Generatoren als einphasige Wechselstromdynamos eingeschaltet werden, oder es laufen fünf Generatoren mit voller Belastung als Drehstromdynamos. Gewöhnlich sind drei Generatoren als Drehstromdynamos und zwei als einphasige Wechselstromdynamos in Betrieb.

Von Tivoli wird die Energie mit einem maximalen Verlust von 20% durch sechs blanke Leitungen, welche auf Gittermasten verlegt sind, fortgeleitet und in der Station Porta Pia auf 2000 Volt herabtransformiert. In der letzteren Station findet auch eine Umformung in Gleichstrom für den Betrieb der Trambahn in vier Umformern à 70 KW, vier Motorgeneratoren à 120 KW und zwei à 250 KW statt. Ausserdem werden von hier aus sechs Stromkreise von je 48 in Serie geschalteten Bogenlampen für die Strassenbeleuchtung mit 2000 Volt durch eine besondere Gruppe von Transformatoren (Fig. 23) gespeist.

Das Zusammenwirken der beiden Werke ist so geregelt, dass die Dampfcentrale nur in den Stunden des stärksten Konsums zur Stromlieferung heran-

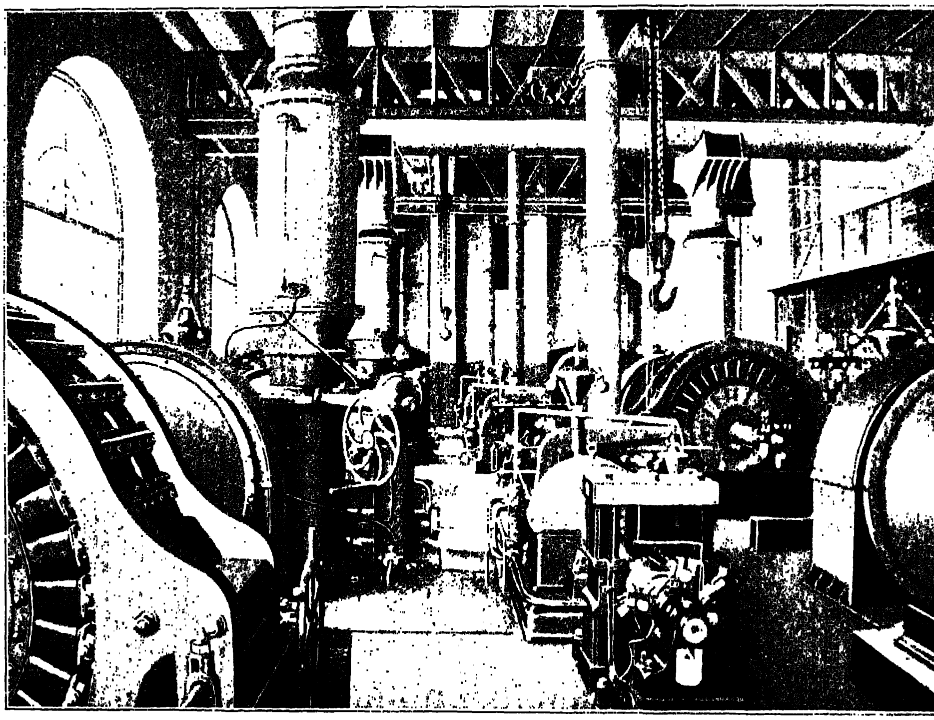


Fig. 22. Maschinenhalle der Centrale in Tivoli.

gezogen wird. Zu den übrigen Zeiten erfolgt die Stromlieferung für diesen Rayon durch die Verbindungsleitungen zwischen den beiden Stationen Porta Pia und Cerchi, auch sind Vorkehrungen getroffen, dass an verschiedenen Punkten des Netzes ganze Netzteile nach Bedarf entweder auf die eine oder die andere Station geschaltet werden können.

Ende 1903 waren in Rom 426 Einzeltransformatorenstationen für Privatkonsum mit 8171 KW in Betrieb, von denen jede zur Deckung des Konsums bis zu einer Entfernung von 125 m diente.

13. Hannover.[1]) Die Stadt Hannover hat die Erbauung ihres Elektrizitätswerkes im November 1889 beschlossen, als längere Erfahrungen im Betriebe grösserer städtischer Anlagen noch nicht vorlagen. Das Werk sollte zunächst nur das

1) Vgl. Z. d. V. d. J. 1905, S. 73.

innere Gebiet von etwa $1^1/_2$ km im Durchmesser versorgen, für welches nach den angestellten Erhebungen Bedürfnis für elektrische Energie in dem Masse vorhanden war, dass eine genügende Rentabilität zu erwarten war. Es sollte jedoch die Möglichkeit gegeben sein, auch die übrigen Stadtteile in das Versorgungsgebiet hinein zu beziehen.

Von diesen Gesichtspunkten aus schien das von der Firma Schuckert & Co. zu Nürnberg eingereichte Projekt I als das geeignetste. Nach diesem sollte die Stadt mittels Gleichstrom nach dem Dreileitersystem von 2 × 110 Volt versorgt werden, der in einer ziemlich im Mittelpunkte des Versorgungsgebietes liegenden Centrale durch Dampfdynamos erzeugt werden sollte. Gegenüber ähnlichen älteren Anlagen, welche die Spannung von 2 × 110 Volt mit zwei hintereinander geschalteten Maschinen erzeugten, waren hier die

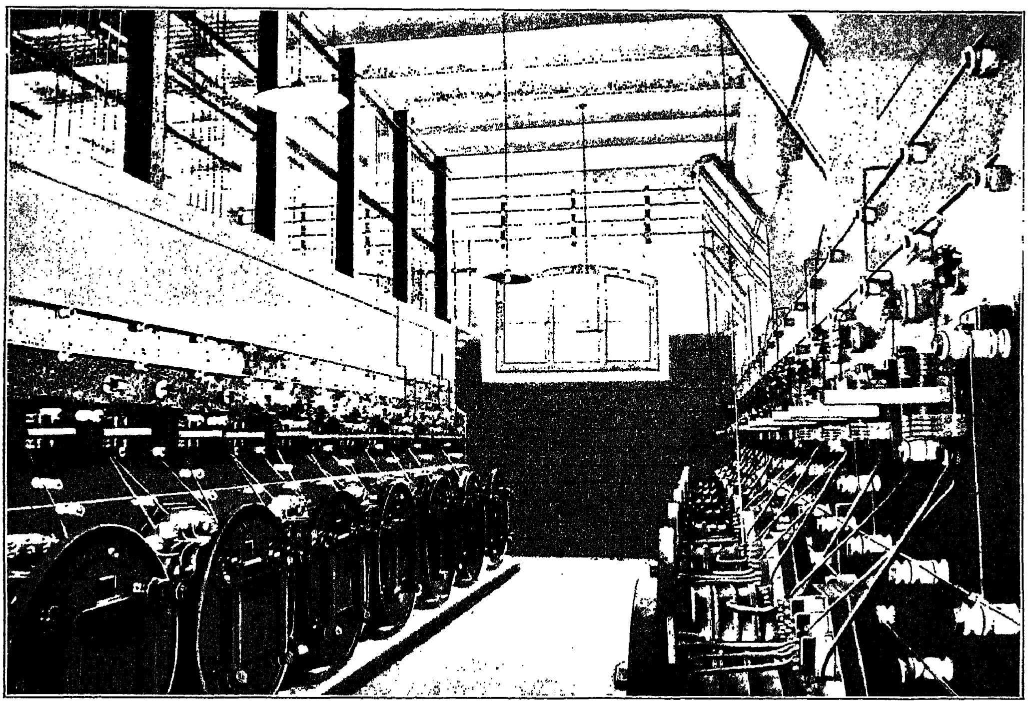


Fig. 23. Transformatorenstation bei der Porta Pia.

Dynamos für die doppelte Spannung gewählt und direkt auf die Aussenleiter geschaltet, wodurch eine erhebliche Vereinfachung der Anlage erzielt wurde. Parallel zu den Dynamos waren als Reserve und zur Spannungsteilung Akkumulatoren vorgesehen, deren Leistung gegenüber den bisher ausgeführten Anlagen verhältnismässig bedeutend war. Dadurch liess sich eine Beschränkung der Betriebsdauer bei möglichst normaler Belastung der Maschinen erzielen und es war damit ferner für den Fall von Betriebsstörungen in der Maschinenanlage ein sicherer Rückhalt in der Versorgung der Abnehmer geschaffen.

Auf Grund der Erhebungen über den zu erwartenden Stromverbrauch war die Leistung der Maschinenanlage im vollen Ausbau auf 1100 KW festgelegt, die in vier Dampfdynamos von je maximal 275 KW erzeugt werden

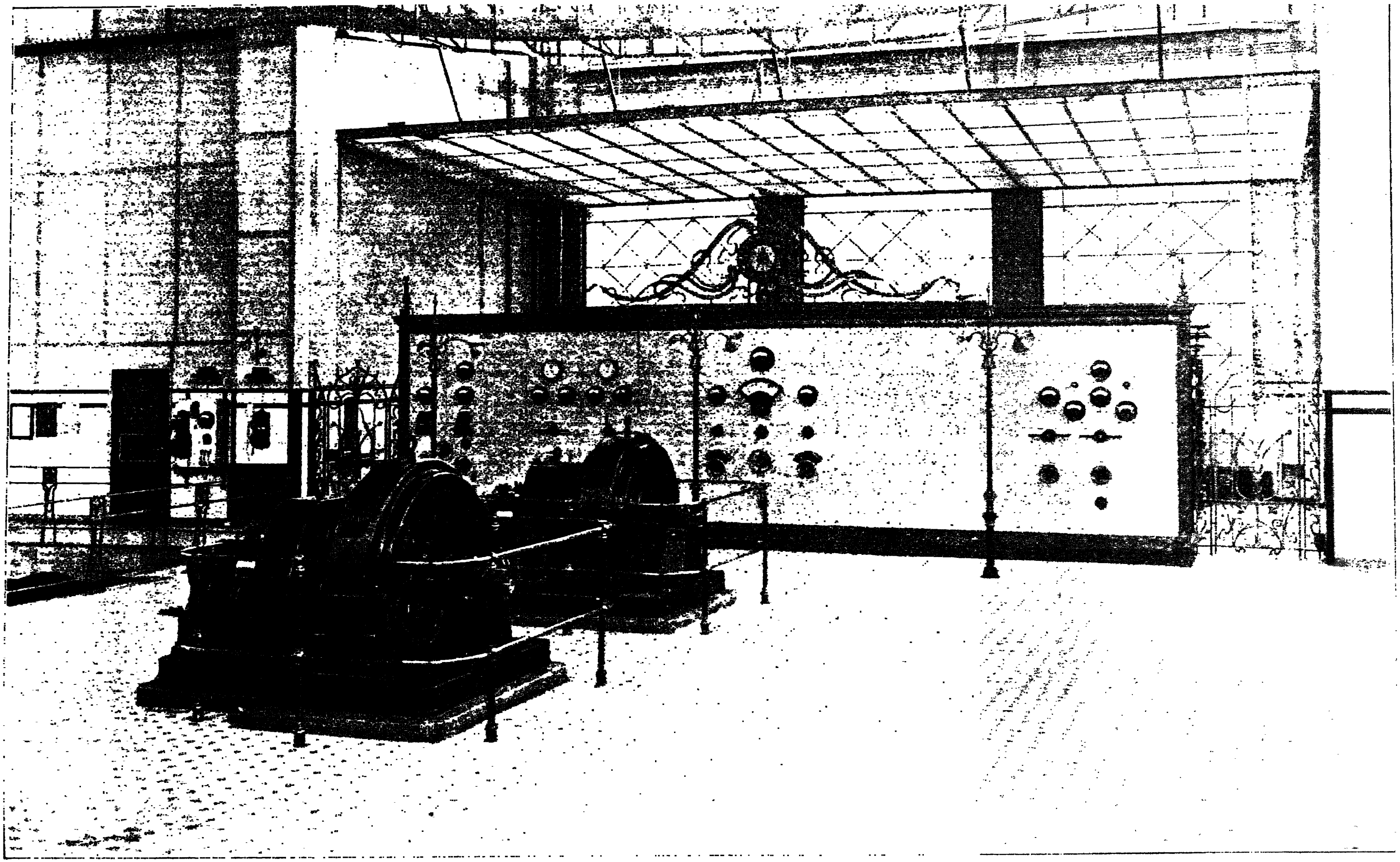


Fig. 24. Drehstromcentrale der Stadt Hannover. Schaltanlage.

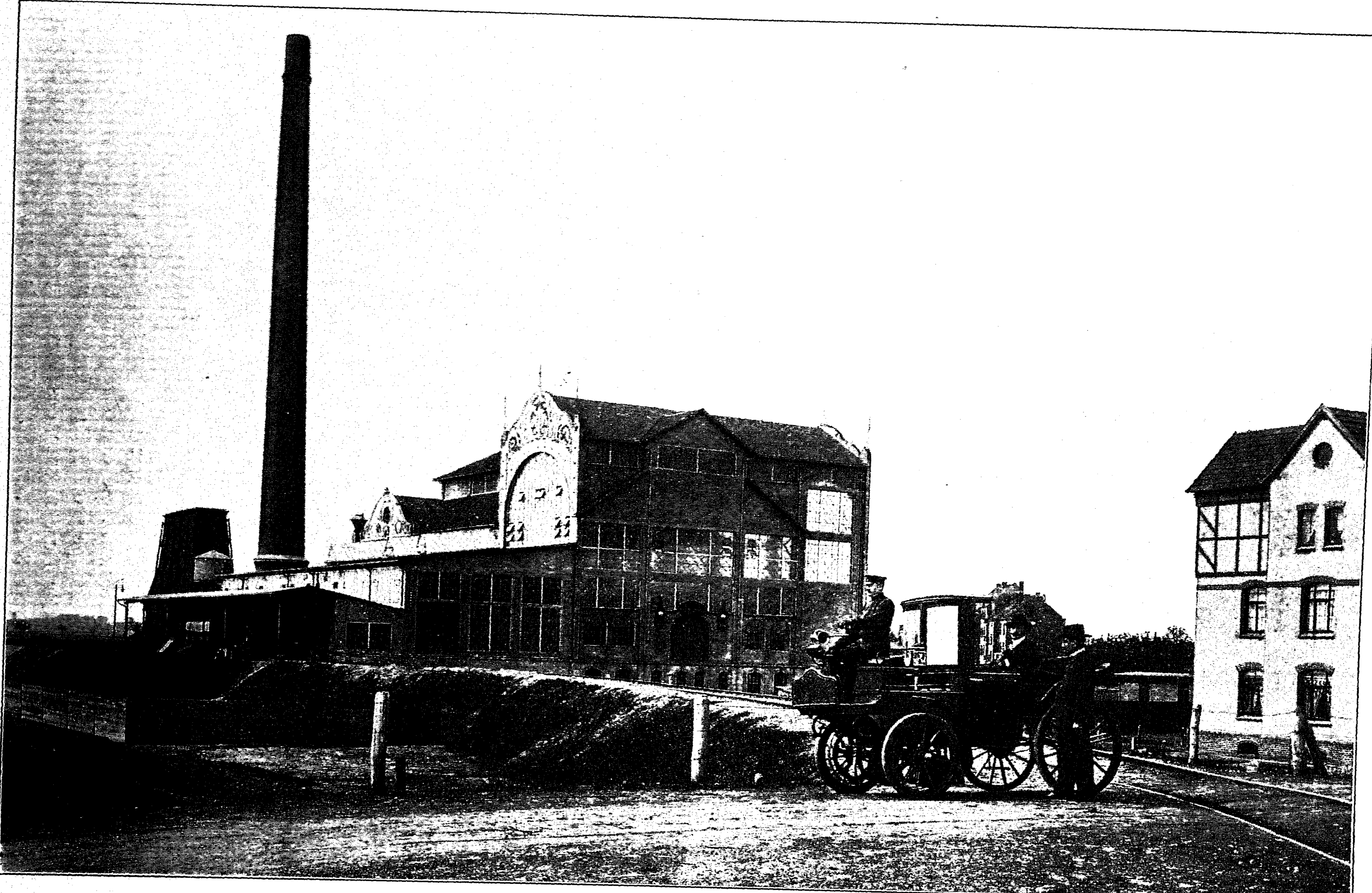


Fig. 25. Drehstromcentrale der Stadt Hannover. Gesamtansicht.

sollten, während die Akkumulatorenanlage aus vier parallel geschalteten Batterien von je 100 KW für $3^1/_3$ stündige Entladedauer bestehen sollte.

Zwecks bester Ausnutzung des im Centrum der Stadt teuren Grund und Bodens waren als Dampferzeuger fünf Wasserröhrenkessel von je 181 m² wasserberührter Heizfläche der Firma L. & C. Steinmüller in Gummersbach und als Krafterzeuger vier stehende Dreifachexpansions-Dampfmaschinen von je 3—400 effektiven PS der Firma F. Schichau in Elbing vorgesehen, welch letztere mit Flachring-Dynamos von je 275 KW der Firma Schuckert & Co. direkt gekuppelt werden sollten. Die Lieferung der Akkumulatoren sollte die Firma Akkumulatoren-Fabrik-Aktiengesellschaft in Hagen, die der Kabel die Firma Felten & Guilleaume in Mülheim a/Rh. erhalten.

Diese Anlage sollte für die spätere Versorgung des zunächst liegenden Stadtgebietes von etwa $1^1/_2$ km Durchmesser dauernd ausreichen. Die Versorgung der ferner liegenden Stadtgebiete war mittels Akkumulatoren-Unterstationen projektiert, die in den Tagesstunden von der Centrale aus durch Ladeleitungen aufgeladen werden sollten, um abends das von ihnen zu speisende Gebiet mit Strom zu versorgen.

Der im Jahre 1890 vorgenommene erste Ausbau des Städtischen Elektrizitätswerkes Hannover umfasste drei Steinmüller-Kessel von je 181 m² Heizfläche, zwei Dampfdynamos von je 275 KW, sowie zwei Akkumulatorenbatterien von je 100 KW für $3^1/_3$ Stunden. Die Anlage kam im März 1901 in Betrieb. Sie wurde von Anfang an rege benutzt und schon gegen Ende des ersten Betriebsjahres stellte sich heraus, dass die Anlage auch für das innere Stadtgebiet, auf das sie beschränkt war, auf die Dauer selbst im vollen projektierten Ausbau nicht ausreichen werde.

Bei der im Jahre 1892 ausgeführten Erweiterung wurde daher statt eines neuen Kessels von 181 m² ein solcher von 303 m² aufgestellt und statt der Dampfdynamo von 275 KW eine solche von 400 KW. Eine neue Erweiterung in gleicher Grösse wurde bereits im Jahre 1895 notwendig, in welchem der Anschluss des Königlichen Hoftheaters erfolgte. Als Dynamo wurde nicht mehr eine solche mit Flachringanker, sondern die neuere Type mit Trommelanker gewählt. Damit war das Werk in seinem maschinellen Teile voll ausgebaut und erreichte statt der projektierten maximalen Maschinenleistung von 1100 KW eine solche von 1350 KW. Die ferner notwendigen Erweiterungen mussten durch Erhöhung der Leistung der Akkumulatoren ausgeführt werden.

Diese Erweiterungen waren zum Teil auch dadurch veranlasst, dass ausserhalb des bisher versorgten inneren Stadtgebietes sich ein Bedürfnis elektrischer Energie herausgestellt hatte. Die im Projekt vorgesehene Einrichtung von Akkumulatoren-Unterstationen, die tagsüber von der Centrale geladen werden sollten, erwies sich dafür nicht zweckmässig, da es sich nicht um genügend geschlossene Stadtgebiete handelte und auch die Wartung und Unterhaltung solcher Unterstationen den Betrieb sehr kompliziert hätte und zu kostspielig geworden wäre.

Die von der Centrale überhaupt noch wirtschaftlich erreichbaren Stadtteile wurden durch eine neue, in den Abendstunden mit erhöhter Abgangsspannung betriebene Gruppe von Speiseleitungen von ca. 1 km Länge mit Strom versorgt und der Durchmesser des Versorgungsgebietes dadurch von rund $1^1/_2$ km auf rund 3 km erhöht. Weiter als etwa $1^1/_2$ km von der Centrale entfernt liegende Anlagen konnten bei dem Dreileitersystem von

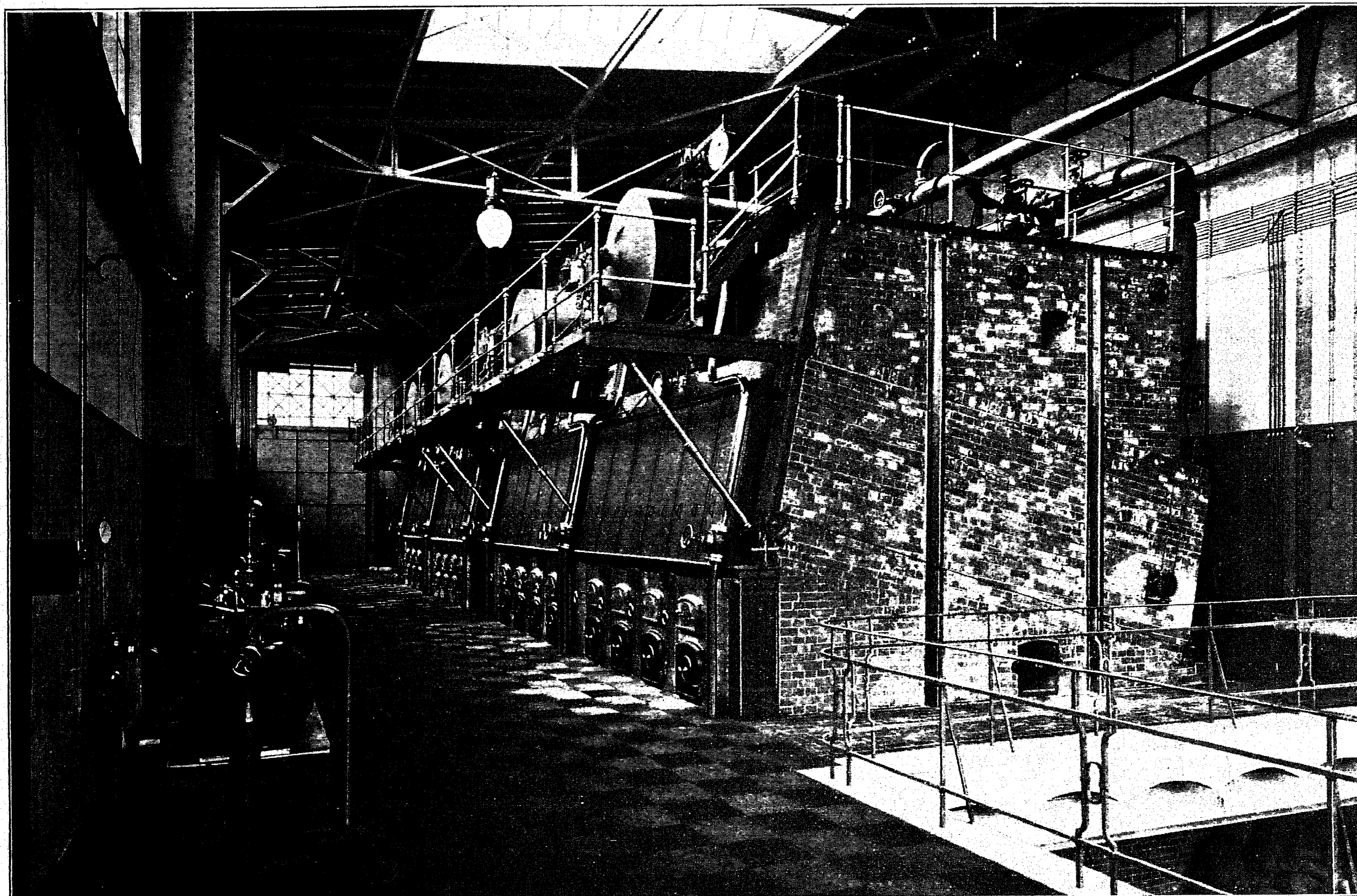


Fig. 26. Drehstromcentrale der Stadt Hannover. Kesselhaus.

2 × 110 Volt mit wirtschaftlichem Erfolge nicht mehr angeschlossen werden, kamen zunächst aber auch noch nicht in Frage.

Die Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Werkes hielt mit dem steigenden Bedarf in dem erweiterten Netz dadurch Schritt, dass die Leistung der Akkumulatoren in gleichem Masse gesteigert wurde. Dies erfolgte zunächst im Jahre 1897, indem gelegentlich eines Umbaues der beiden vorhandenen Batterien durch Einbau einer neuen Plattentype deren Leistung von 2 × 100 KW auf 2 × 175 KW erhöht wurde. Im Jahre 1898 wurde eine dritte Batterie von 175 KW und im Jahre 1899 eine vierte von derselben Leistung aufgestellt. Damit enthielt das nun vollbesetzte Akkumulatorenhaus statt der ursprünglich projektierten Leistung von 400 KW für $3^1/_3$ Stunden eine solche von 700 KW.

Die im Jahre 1901 wieder erforderliche Erweiterung erfolgte durch Aufstellung einer fünften Batterie von 350 KW Leistung, die schon in einem besonderen Anbau untergebracht werden musste. Das Werk, dessen Leistungsfähigkeit im Jahre 1891 550 KW in Maschinen und 200 KW in Akkumulatoren betragen hatte, und dessen voller Ausbau nach dem Projekte die doppelte Leistung, insgesamt also 1500 KW aufweisen sollte, hatte somit nach nur zehnjährigem Bestehen eine Leistung von 1350 KW in Maschinen und von 1050 KW in Akkumulatoren, insgesamt also von 2400 KW und besass dabei kaum die genügende Reserve, um den Bedarf des Netzes zu decken.

Eine auch nur für wenige Jahre ausreichende Erweiterung der bestehenden Maschinenanlage würde sehr erheblichen Schwierigkeiten begegnet sein und hätte ganz unverhältnismässige Anlagekosten verursacht. Auch würde es erforderlich gewesen sein, das Kabelnetz mit der doppelten Spannung von 2 × 220 Volt zu betreiben, um den aus den Aussengebieten geäusserten Wünschen nach Anschluss an das städtische Kabelnetz einigermassen Rechnung tragen zu können.

Da aber auch durch diese Spannungsverdoppelung eine Versorgung des gesamten Stadtgebietes nicht hätte ermöglicht werden können, da die Kohlenzufuhr nach dem Werke an der Osterstrasse nicht in genügendem Masse gesteigert werden konnte, so entschloss man sich, die weitere Vergrösserung der Betriebsmittel durch Erbauung einer neuen grossen Drehstromcentrale vorzunehmen, welche im äusseren Stadtgebiete etwa 6 km von der alten Gleichstromcentrale entfernt liegt (Fig. 25).

Die Leistungsfähigkeit der voll ausgebauten Centrale (Tfl. III) ist zu 6000 KW angenommen, doch liegt die Möglichkeit vor, auf demselben Grundstück eine zweite Centrale von derselben Leistung zu erbauen.

Die mit 4750 — 5000 Volt verketteter Spannung erzeugte Energie wird der Schalttafel (Fig. 24), und von da zu einem Teile einem Drehstromverteilungsnetz zugeführt, indem sie durch Transformatoren auf eine Gebrauchsspannung von 3 × 110 Volt herabgesetzt wird. Dieses Drehstromnetz wird im vollen Ausbau die sämtlichen bisher noch nicht mit Elektrizität versorgten Stadtteile umfassen und somit ringförmig das mit Gleichstrom versorgte innere Stadtgebiet umschliessen.

Ein anderer Teil der in der Drehstromcentrale erzeugten Energie soll später in einer Umformer-Unterstation mit Akkumulatoren, die an Stelle des jetzigen Gleichstromwerkes errichtet werden wird, in Gleichstrom von 2 × 110 Volt Verbrauchsspannung umgewandelt werden und dient dann zur

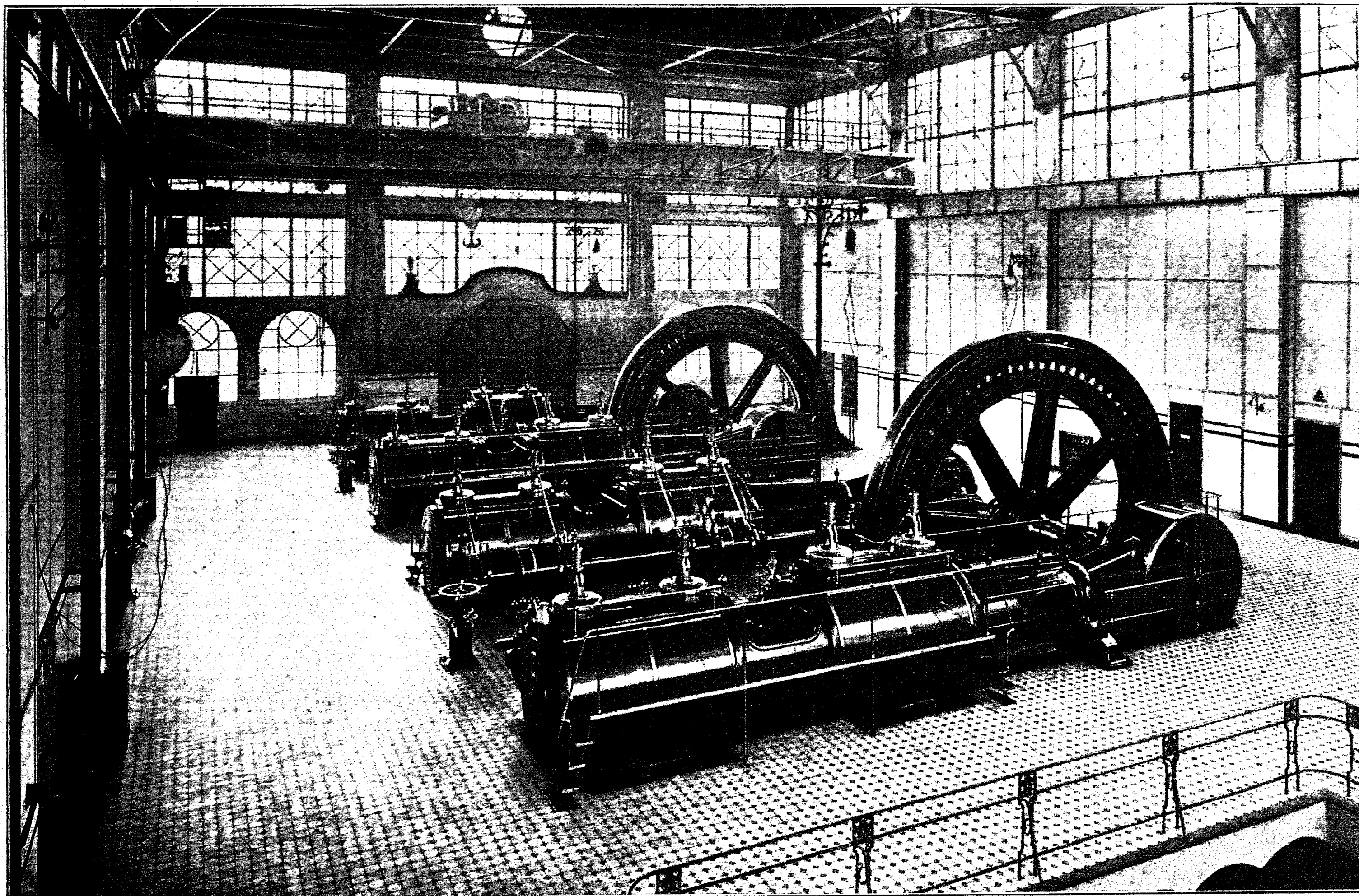


Fig. 27. Drehstromcentrale der Stadt Hannover. Maschinenhaus.

Versorgung des vorhandenen Gleichstromnetzes. Diese Umformerstation wird im vollen Ausbau vier Umformer von je 800 und drei zu je 400 KW enthalten, welche mit den schon vorhandenen 1100 KW der Akkumulatoren eine Leistungsfähigkeit der Station von 5500 KW darstellen werden, die auf absehbare Zeit für den Bedarf des vorhandenen Gleichstromnetzes ausreichen dürfte.

Der erste Ausbau der Drehstromcentrale erfolgte in den Jahren 1901 und 1902. Es kamen vier Wasserröhrenkessel mit Überhitzern der Firma L. & C. Steinmüller, Gummersbach, von je 417 m^2 Heizfläche (Fig. 26) und zwei liegende Dreifachexpansions-Dampfmaschinen der Hannoverschen Maschinenbau-Aktiengesellschaft vorm. Georg Egestorff von je normal 1450 effektiven PS (Fig. 27) zur Aufstellung. Letztere tragen auf ihren Wellen je eine Drehstromdynamo für 1000 KW der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Schuckert & Co.

Die inmitten der Stadt liegende Gleichstromcentrale bleibt zunächst in vollem Umfange bestehen, zu ihrer Unterstützung dient eine auf dem gleichen Grundstücke errichtete provisorische Umformerstation, welche den in der Drehstromcentrale erzeugten Drehstrom in Synchronmotorgeneratoren in Gleichstrom von 220 Volt Verbrauchsspannung umformt und direkt in das Gleichstromnetz oder an die Sammelschienen der Gleichstromcentrale abgiebt.

Von den zunächst beschafften drei Umformern hat der eine eine Leistung von 800 KW, die beiden anderen eine solche von je 400 KW. In den Tages- und Abendstunden arbeiten die Drehstromgeneratoren gleichzeitig auf die Umformerstation und das Drehstromnetz, in den Nachtstunden wird das letztere, solange sein Bedarf nicht zu gross ist, dass ein durchgehender Betrieb im Drehstromwerke sich lohnt, von der Umformerstation aus mit Drehstrom versorgt.

Wenn die Leistung der bestehenden Gleichstromcentrale einschliesslich der der provisorischen Umformerstation nicht mehr zur Versorgung des Gleichstromnetzes ausreichen wird, wird die Drehstromcentrale voll ausgebaut und die Gleichstromcentrale, deren Maschinen dann auch ziemlich aufgebraucht sein werden, in die definitive Umformer-Unterstation umgewandelt werden.

Zum Schlusse sei noch eine tabellarische Übersicht über die bisherige Entwickelung und Beanspruchung, sowie die Wirtschaftlichkeit des städtischen Elektrizitätswerkes gegeben.

Tabelle II.

Jahr	Leistungsfähigkeit einschliesslich Reserve KW	Höchste gleichzeitige Leistung KW	Anschlusswert am Jahresschluss KW	Nutzbare Jahresabgabe KW Std	Zinsen M.	Abschreibungen M.	Gewinn M.
1891/92	750	375	595	355 360	61 552·50	90 686·08	50 000
1892/93	1150	435	684	365 110	65 306·89	95 391·35	40 000
1893/94	1150	445	856	392 140	63 906·09	106 712·03	40 000
1894/95	1150	560	1185	570 570	63 198·44	114 246·87	90 000
1895/96	1550	819	1740	846 620	62 465·38	183 056·42	130 000
1896/97	1550	1045	2191	1 087 010	71 706·80	168 500·76	170 000
1897/98	1730	1202	2596	1 209 180	70 919·89	195 025·99	181 000
1898/99	1900	1415	3267	1 434 130	69 820·27	202 319·77	260 000
1899/00	2020	1632	3749	1 763 525	72 081·06	240 269·23	305 000
1900/01	2400	1725	4066	1 832 664	80 807·82	199 820·04	319 000
1901/02	2400	1718	4286	1 903 458	52 156·90	256 067·27	300 000
1902/03	4000	1730	5010	1 057 356	120 821·11	254 588·70	283 000

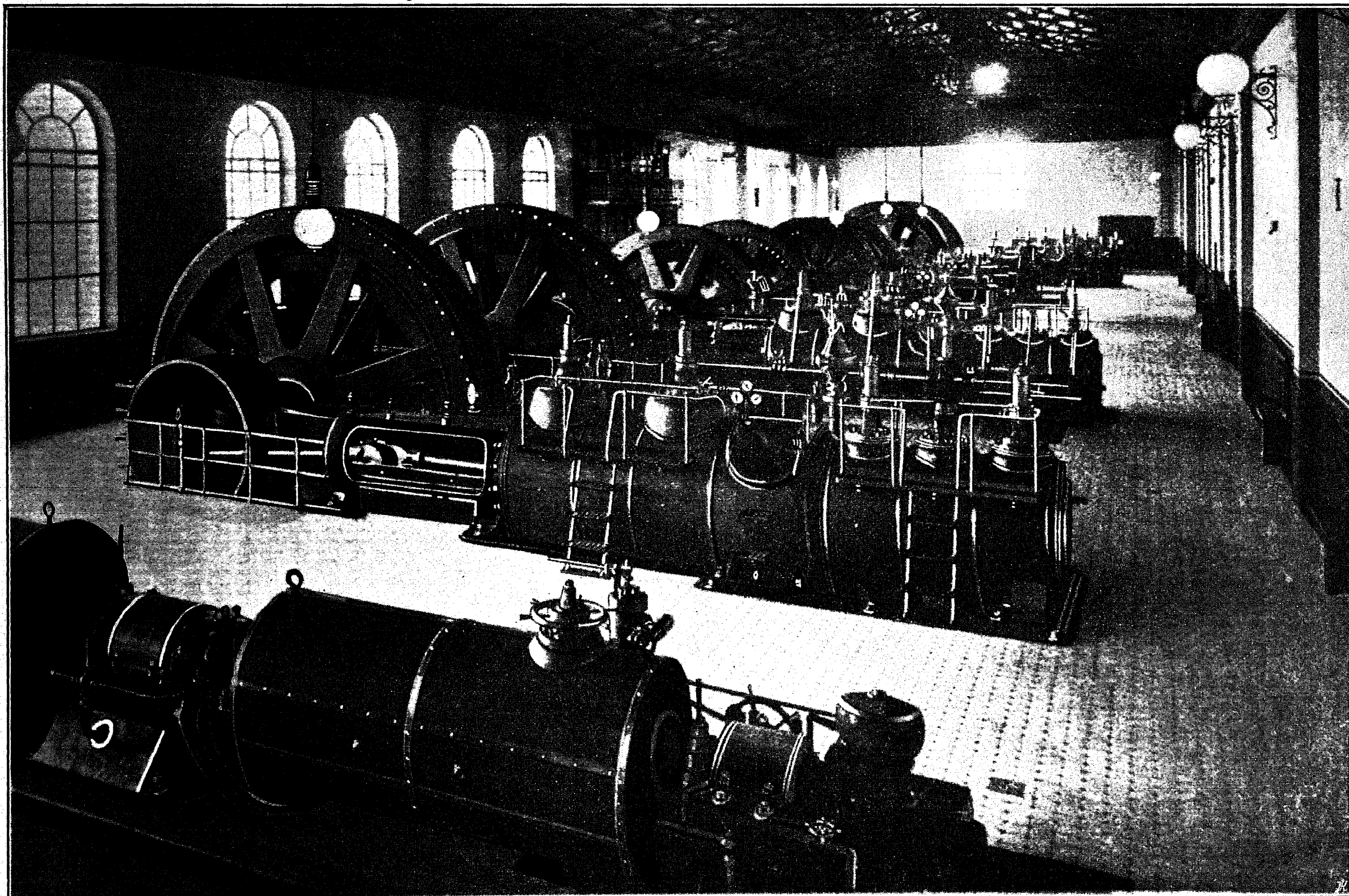


Fig. 28. Maschinenraum der städtischen Elektrizitätswerke Frankfurt a. M.

14. Frankfurt a. M.[1]) Nach mehrjährigen Vorverhandlungen über die Frage, welches Stromverteilungssystem für die Stadt Frankfurt a. M. das geeignetste sei, wurde auf Grund eines nach Schluss der internationalen elektrotechnischen Ausstellung 1891 ausgearbeiteten Gutachtens der Herren O. v. MILLER und LINDLEY das Wechselstrom-Transformatorensystem mit Primär- und Sekundärverteilungsnetz gewählt. In der Sitzung der Stadtverordneten-Versammlung vom 12. Oktober 1893 wurde der Magistratsantrag angenommen:

1. einen Kredit von M. 2010000 für die Errichtung eines städtischen Elektrizitätswerkes auf einem für dasselbe gekauften Grundstück von 14400 m^2 an der Speicherstrasse, welches etwa 100 m vom Main entfernt ist, zur Verfügung zu stellen und
2. die gesamten Bauarbeiten und Lieferungen an die Firma BROWN, BOVERI & Co., Baden (Schweiz), zu vergeben, sowie mit der erbauenden Firma gleichzeitig einen Pachtvertrag abzuschliessen.

Eine Übersicht über das gesamte Werk in seiner gegenwärtigen Ausdehnung giebt Tafel IV, während Fig. 28 eine Ansicht des Maschinenraumes darstellt.

Der erste Ausbau war für 21000 gleichzeitig brennende Lampen à 50 Watt vorgesehen, und wurden zunächst drei Dampfdynamos von je 522 KW Leistung aufgestellt. Die Dampfmaschinen sind liegende Tandem-Verbundmaschinen der Firma G. KUHN in Stuttgart-Berg für acht Atmosphären Anfangsspannung und 85 Umdrehungen. Die Maschinen besitzen zwangläufige Ventilsteuerung mit festeingestellter Niederdrucksteuerung und arbeiten bei normaler Belastung mit 18 $^0/_0$ und bei maximaler Leistung mit 27 $^0/_0$ Füllung im Hochdruckzylinder. Die von BROWN, BOVERI & Co. gelieferten Dynamos für einphasigen Wechselstrom von 3000 Volt besitzen 64 direkt auf das Schwungrad aufgesetzte Magnetpole, deren Polschuhe nicht lamelliert sind. Der vierteilige Armaturkranz enthält 16 eingebaute Segmente mit je vier Wechselstromspulen und ist auf zwei an den Rahmen angegossenen zylindrischen Ansätzen zum Zwecke schneller Reparatur drehbar angeordnet. Die Leistung der direkt gekuppelten sechspoligen Erregerdynamo beträgt 190 Amp. bei 80 Volt. Die Abnahmeprüfung dieser Maschine ergab einen Dampfverbrauch pro erzeugte KWStd von 11·5 kg bei 560 PS und 11·87 kg bei 750 PS. Den erforderlichen Dampf lieferten acht Flammrohrkessel à 86 m^2 Heizfläche.

Bereits am 16. Oktober 1894 wurde mit der Stromlieferung begonnen und häuften sich die Anmeldungen derartig, dass sofort eine vierte Dampfdynamo mit vier zugehörigen Dampfkesseln bestellt werden musste, welche im Januar 1896 in Betrieb genommen wurde. Da auch der Anschluss von Elektromotoren in erfreulicher Weise zunahm und damit eine gute Tagesbelastung geschaffen wurde, entschloss man sich, für den weiteren Ausbau zwei Dampfdynamos von je 1500 PS vorzusehen, für welche der nötige Dampf von sechs Wasserrohrkesseln à 310 m^2 Heizfläche geliefert werden sollte. Der Übergang von Flammrohrkesseln zu Wasserrohrkesseln erfolgte, weil die letzteren für rasche Dampfentwickelung und stark wechselnden Betrieb als überlegen erkannt waren; auch hätte bei Flammrohrkesseln das

1) Aus: „Die städtischen Elektrizitätswerke zu Frankfurt a. M." von Betriebsdirektor J. SINGER, 1903.

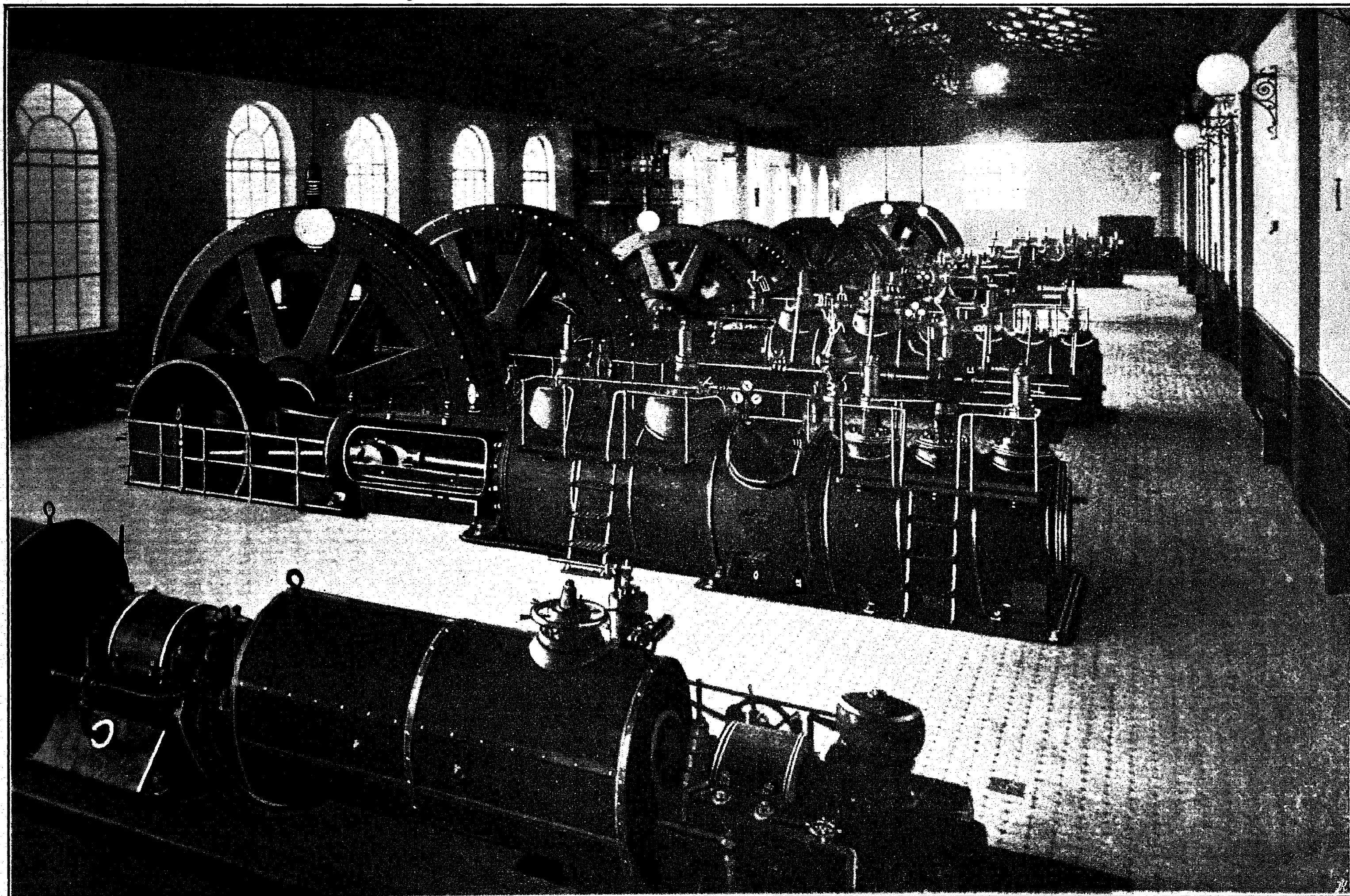


Fig. 28. Maschinenraum der städtischen Elektrizitätswerke Frankfurt a. M.

Kesselhaus im Verhältnis zum Maschinenraum Dimensionen angenommen, welche zu unvorteilhaft langen Dampfleitungen geführt haben würden. Die erste von GEBR. SULZER in Winterthur hergestellte 1500 PS-Dampfmaschine für neun Atmosphären Betriebsdruck und überhitzten Dampf von 250° C., welche wie die vorhandenen nach dem Tandem-Compoundsystem, das sich in jeder Beziehung bewährt hatte, gebaut war, kam im November 1897 in Betrieb. Jeder Zylinder wird durch vier entlastete einsitzige Ventile gesteuert. Der Fuss des Kurbellagers ist gegen die Dynamomaschine zu verlängert und zu einem Tragzapfen ausgebildet, auf welchem die feststehende Armatur der Dynamo wie bei den früheren Maschinen drehbar gelagert ist. Die Dynamo von gleicher Bauart wie die kleineren ist für eine maximale Leistung von 1030 KW berechnet.

Als im Jahre 1898 auf der Strassenbahn die Einführung des elektrischen Betriebes vor sich gehen sollte, für welche das städtische Elektrizitätswerk ebenfalls die Stromlieferung aus einer besonderen unterirdischen Umformerstation am Schillerplatz zu übernehmen hatte, war die Aufstellung zweier weiterer 1500 PS-Dampfdynamos erforderlich. Während für die Dampfmaschinen die gleiche Konstruktion wie für die vorhandenen gewählt wurde, stattete man die zugehörigen Dampfkessel mit Überhitzern aus, welche den Dampf so weit überhitzten, dass an den Maschinen etwa 250° C. herrschten. Welch wesentliche Verbesserung hierdurch herbeigeführt wurde, geht am deutlichsten aus den Dampfverbrauchszahlen hervor. Während bei den erst aufgestellten 1500 PS-Maschinen ein Dampfverbrauch von 10·2 kg pro KWStd erforderlich war, ergab sich für die neuen Maschinen mit überhitztem Dampf ein solcher von nur 9 kg. Auch bei den von STEINMÜLLER in Gummersbach gelieferten Wasserrohrkesseln mit automatischer Rostbeschickung wurde festgestellt, dass der Nutzeffekt beim Arbeiten mit Überhitzung sich um einige Prozent höher stellte, als bei der Erzeugung gesättigten Dampfes.

Nach Aufstellung einer Wasserreinigungsanlage mit Kalksättiger der Firma REISERT in Köln wurde als Kesselspeisewasser, welches bis zum Jahre 1899 der städtischen Wasserleitung entnommen wurde, das aus den Kondensatoren der Dampfmaschinen abfliessende Mainwasser benutzt, welches ursprünglich eine Härte von 20—22° aufwies und mit etwas Öl untermischt war, jedoch nach erfolgter Reinigung nur noch eine Härte von 2—3° zeigte.

Als im Jahre 1900 eine weitere Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Elektrizitätswerkes notwendig wurde, entschloss man sich nach eingehendem Studium zur Aufstellung von Dampfturbinen, System PARSON, deren Fabrikation seitens der Firma BROWN, BOVERI & Co. aufgenommen war, und zwar in einer Grösse von 2600 KW (Fig. 29), für eine Dampfspannung von 13 Atm. und eine Dampfüberhitzungstemperatur von 300° C. Der Strom für die Erregung des rotierenden Magnetfeldes des Alternators wird von einer Akkumulatorenbatterie für 120 Volt geliefert.

Die für die Parallelschaltung erforderliche Veränderung der Geschwindigkeit der Turbodynamo im Betriebe wird innerhalb der durch die Regulierfähigkeit der Regulatorfeder gegebenen Grenzen vermittels einer Gegenfeder bewirkt, die sowohl von Hand als auch mit Hilfe eines vom Schaltbrett gesteuerten Elektromotors beeinflusst werden kann. Alle Teile der Dampfturbine sind leicht zugänglich, und ein einfaches Abschrauben und Abheben der oberen Zylinderdeckel genügt, um das ganze Innere der Turbine frei zu legen.

Die erste Turbodynamo von 16·5 m Länge und 2·5 m Höhe kam im August 1902 in Betrieb und hat den gehegten Erwartungen in jeder Beziehung entsprochen. Während z. B. der garantierte Dampfverbrauch per KWStd 7·2 kg bei 12·8 Atm. Überdruck und 300⁰ Überhitzung bei einer Belastung von 2600 KW betrug, ergab sich der Mittelwert aus einer Reihe während des Betriebes vorgenommener Versuche bei einer Belastung von 2518 KW und einer Dampftemperatur von 295⁰ C. bei 12·8 Atm. zu nur 7·09 kg.

Den erforderlichen Dampf liefert eine Batterie von drei Grossraum-Wasserrohrkesseln von G. Kuhn, Stuttgart-Berg, für 15 Atm. und 350⁰ C. Überhitzung, welche mit Schrägrostfeuerung ausgestattet sind und eine besonders ökonomische Verbrennung des Heizmaterials ergeben.

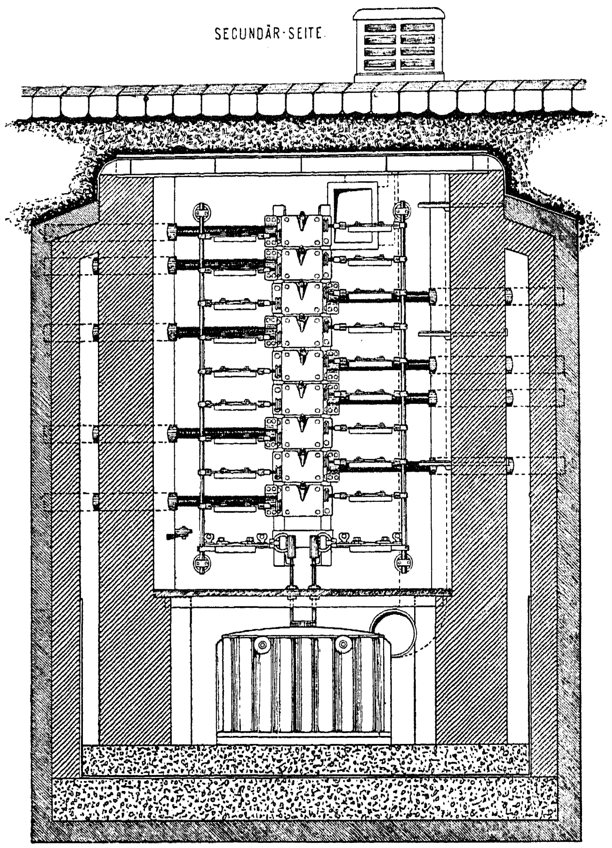
Zur Kondensation des aus der Dampfturbine abgehenden ölfreien Dampfes dient eine besondere, von der Firma Balcke & Co., Bochum, gelieferte Oberflächen-Kondensationsanlage nach dem Gegenstromprincip, welche aus einem Oberflächen-Kondensator, einer Trockenluftpumpe, einer Zirkulations-, einer Kondensations- und einer Kesselspeisepumpe besteht. Das Kondensat wird nach erfolgter Vorwärmung durch den Abdampf der die Kondensation treibenden Auspuffdampfmaschine sofort in die Kessel zurückgepumpt.

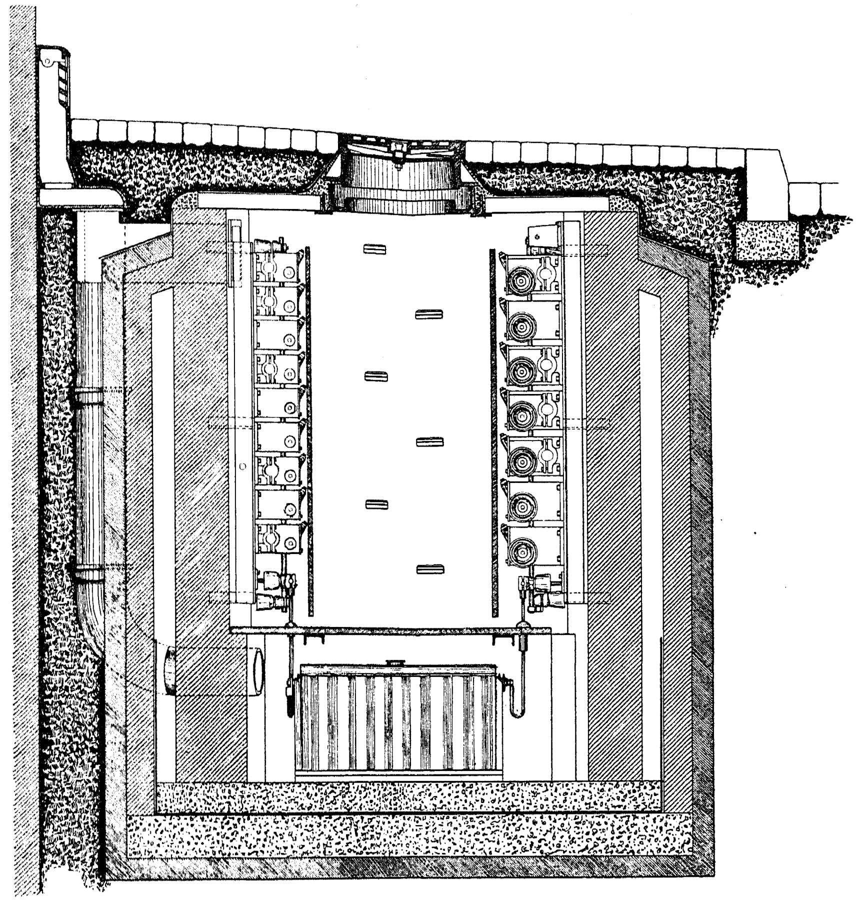
Der in der Centrale erzeugte Wechselstrom wird einem geschlossenen Hochspannungsverteilungsnetz zugeführt, von dem das Niederspannungsnetz durch die Transformatoren mit einem Übersetzungsverhältnis von 2850/123 Volt gespeist wird. Die Transformatoren sind teilweise in unterirdischen Strassenschächten (Tfl. V), teilweise in Kellerräumen untergebracht. Um das Bedienungspersonal beim Betreten der Schächte gegen zufällige Berührung stromführender Teile zu schützen, sind vor der Hoch- und Niederspannungsseite zweiteilige Abschlussthüren angebracht. Der Transformator steht in dem unteren ventilierten Teil des Schachtes, über welchem ein vollständig dicht schliessender Bodenbelag aus Schieferplatten hergestellt ist.

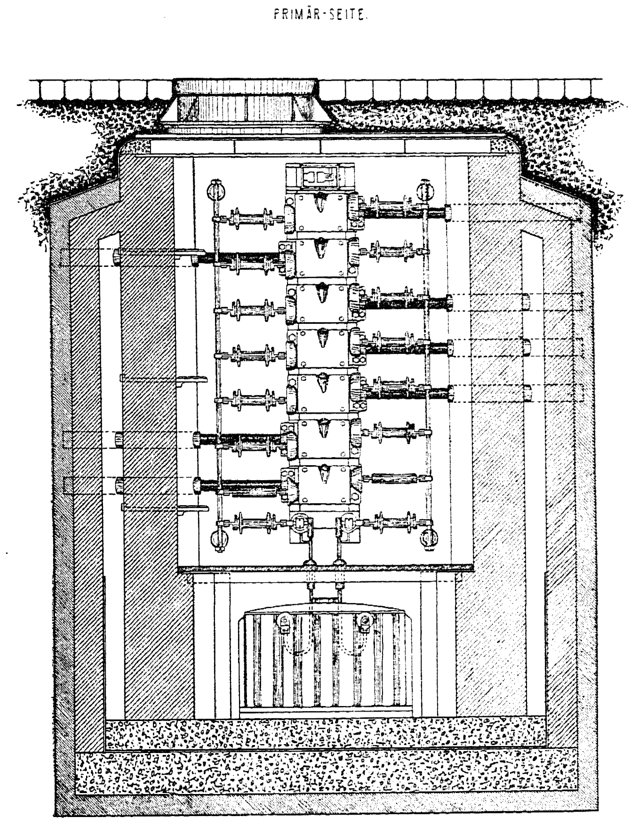
15. Chemnitz. Das städtische Elektrizitätswerk Chemnitz wurde im Jahre 1893 von der Firma Siemens & Halske für Rechnung der Stadt erbaut und von derselben Firma vom 1. Juli 1894 bis zum Jahre 1903 unter Garantie der Verzinsung und Amortisation, sowie Abgabe eines bestimmten Anteils vom Reingewinn gepachtet. Die regelmässige Stromlieferung konnte bereits Ende Mai 1894 aufgenommen werden. Die vorliegenden Konsumverhältnisse führten zur Wahl des Drehstromsystems mit einer Spannung von 2000/120 Volt und einem geschlossenen Hoch- und Niederspannungsnetz.

Die Centralstation (Tfl. VI) liegt an der nördlichen Peripherie der Stadt an dem Zusammenfluss des Schlossteichabflusses und des Mühlgrabens. An Betriebsmitteln waren für den ersten Ausbau vorgesehen drei Steinmüller-Circulations-Wasserröhrenkessel von je 152 m² Heizfläche und drei Dampfdynamos von je 150 PS Normalleistung und 220 PS Maximalleistung, während die zugehörigen 2000voltigen Drehstromdynamos Type *R* für je 180 KW bemessen waren, um dem aus dem erheblichen Motorenkonsum zu erwartenden ungünstigen Leistungsfaktor Rechnung zu tragen.

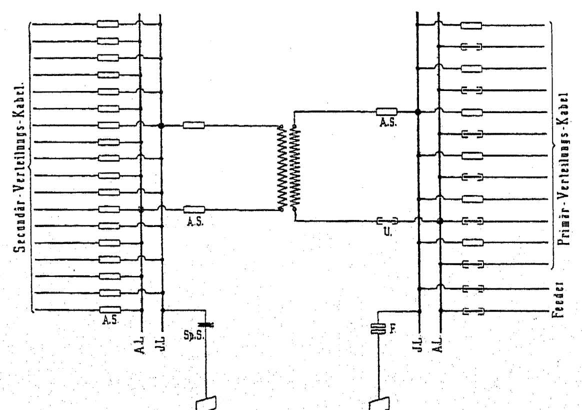
Die Dampfmaschinen, von der Sächsischen Maschinenfabrik vorm. R. Hartmann in Chemnitz geliefert, sind vertikale Dreifach-Expansionsdampfmaschinen mit Kondensation für eine Anfangsspannung von 11 Atm. Die Regulatoren der Dampfmaschinen wurden mit je einem kleinen Gleichstrom-Elektromotor versehen, mit dessen Hilfe eine Beeinflussung der ersteren vom Schaltbrett



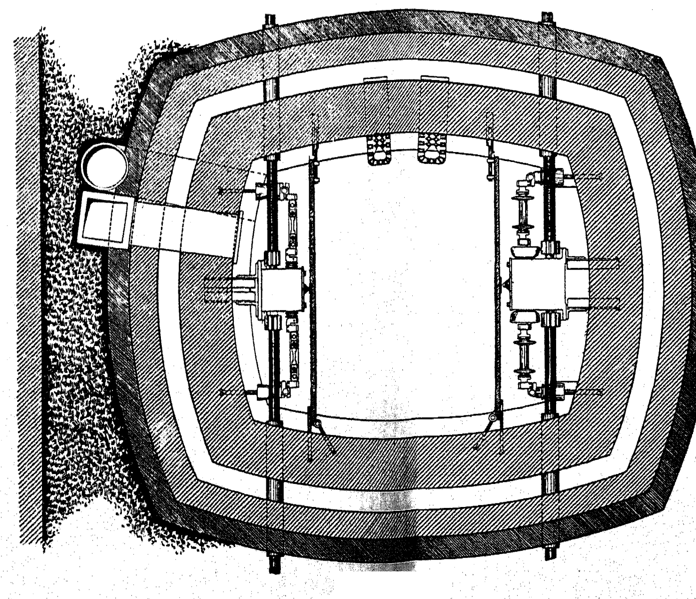




SCHALTUNGSSCHEMA.



A.S Ausschaltbare Sicherung.
U. Unterbrecher.
Sp.S. Spannungs-Sicherung.
F. Funkenstrecke.
A.L Aussenleiter.
J.L Innenleiter.



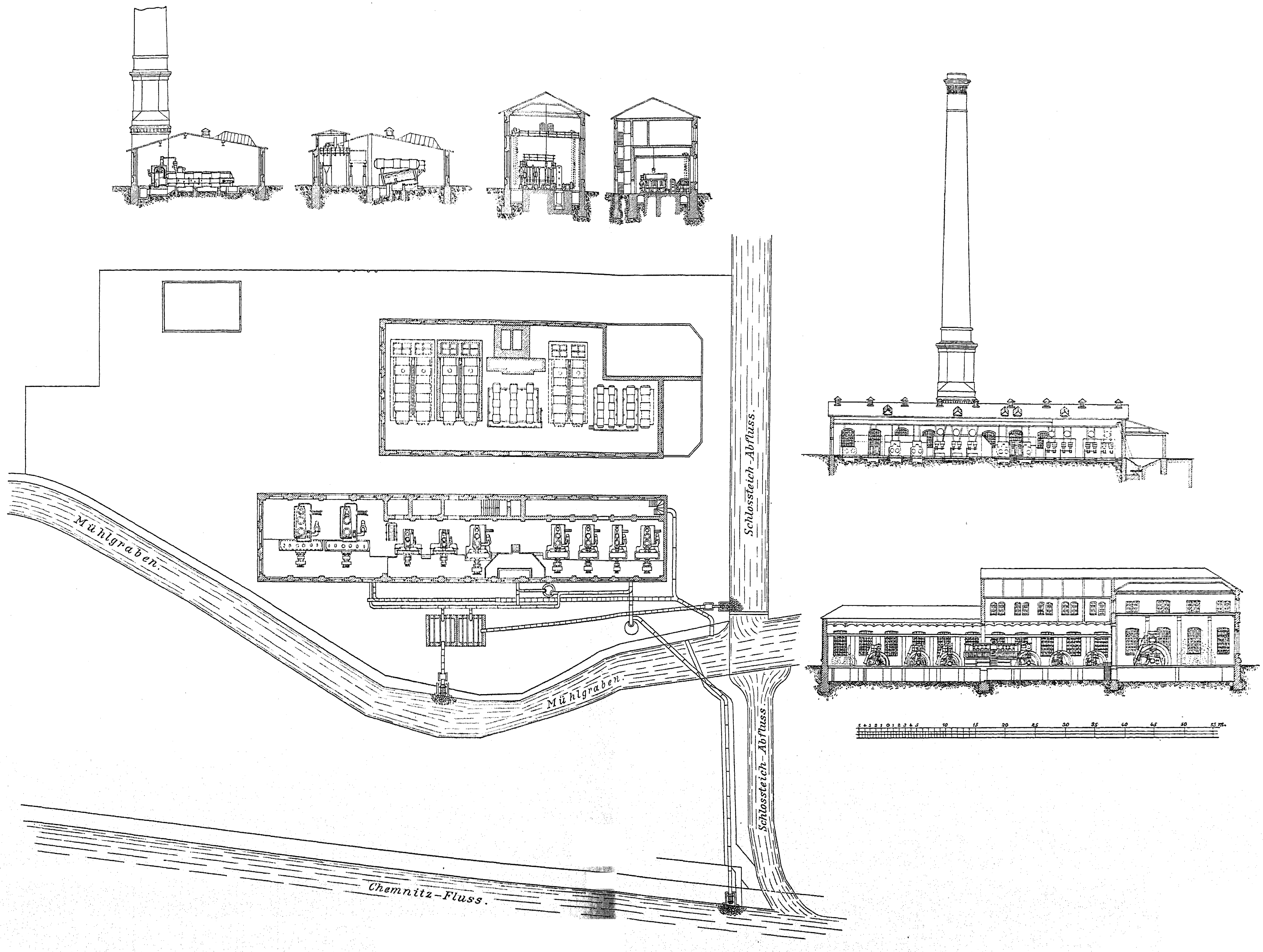
TRANSFORMATOR-SCHACHT.

Massstab 1:10.

STÄDTISCHE ELEKTRIZITÄTS-WERKE
FRANKFURT A. M.

Z. 796 R. 13.

Verlag von S. Hirzel in Leipzig.



Centralstation des städtischen Elektrizitätswerkes Chemnitz.

Verlag von S. Hirzel in Leipzig.

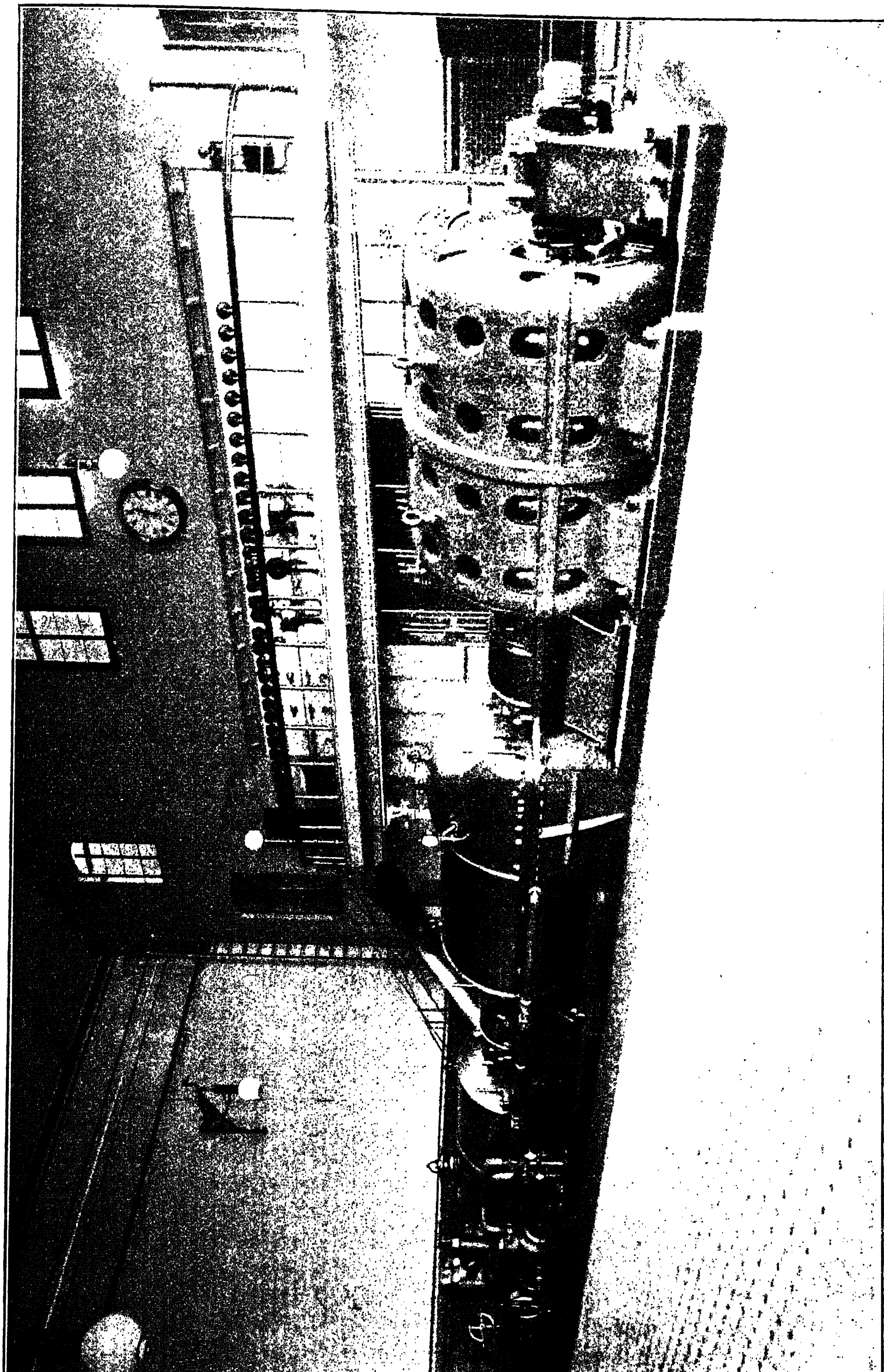


Fig. 29. 5000 PS Turbodynamo der städtischen Elektrizitätswerke Frankfurt a. M.

aus möglich war, indem die Motoren mittels doppelter Schnecken- und Zahnradübersetzung ein den Regulator mehr oder weniger belastendes Gewicht verstellten. Diese Einrichtung leistet namentlich beim Zu- und Abschalten der Dynamos ausgezeichnete Dienste.

Die direkt gekuppelten Erreger, Type *J*, sind für eine Klemmenspannung von 100 Volt eingerichtet und fliegend auf der Welle der Drehstromdynamo angeordnet.

Die Schalttafel ist auf einem 1·7 m hohen Podium mit Freitreppe aufgestellt. Der mittlere Teil trägt unten die Doppeltaster zur Betätigung der kleinen Motoren für den Dampfmaschinenregulator, darüber befindet sich ein Spannungsmesser mit Voltmeterumschalter zur Messung der auf $^1/_{80}$ reducierten Maschinenspannungen, ferner ein Phasenvoltmeter mit Phasenlampe nebst Umschalter zum Parallelschalten der Maschinen. Oberhalb auf dem gleichen Felde sind drei Netzspannungs-Voltmeter angebracht. Zu beiden Seiten dieses Mittelfeldes reihen sich gruppenweise die Instrumente für die einzelnen Maschinen an, bestehend aus je einem Amperemeter, einem Wattmeter, einem Erregerstrommesser, einem Hauptmaschinenausschalter und einem Nebenschlussregulator. Zwischen den Maschinenausschaltern befinden sich die Ausschalter für die Fernleitungen. Die Maschinensicherungen sowie die Kabelsicherungen sind unterhalb der Schalttafel übersichtlich angeordnet. Sämtliche Verbindungsleitungen zwischen Schalttafel und Maschinen bestehen aus unterirdisch verlegten, eisenbandarmierten Dreifachkabeln.

Bereits im Jahre 1895 waren die zuerst aufgestellten Betriebsmittel überlastet, weshalb im darauffolgenden Jahre drei Gehre-Wasserröhrenkessel von je 150 m² Heizfläche mit mechanischen Beschickungsapparaten, System Leach, sowie zwei vertikale Dreifach-Expansionsdampfmaschinen mit Kondensation von je 500—600 PS Leistung, direkt gekuppelt mit Drehstromdynamos von 450 KW aufgestellt wurden. Die Dampfmaschinen haben entlastete Flachschiebersteuerung mit eingebautem Expansionsschieber.

Die Dampfrohrleitungen sind doppelt angeordnet und führen vom Kesselhaus durch unterirdische Kanäle zu den Maschinen. Das Speise- und Kondenswasser wird einem Sammelbrunnen entnommen, der vermittels Sickerkanals mit dem Mühlgraben in Verbindung steht. Ein zweiter Sammelbrunnen wird vom Schlossteichabfluss gespeist, kann aber auch durch eine besondere Rohrleitung direkt vom Schlossteich gefüllt werden.

Von der Centrale führen Hochspannungsspeiseleitungen den Strom zum Hochspannungsverteilungsnetz. Von hier entnehmen ihn die in eisernen Säulen (Fig. 30) aufgestellten Transformatoren und führen die elektrische Energie dem Niederspannungsverteilungsnetz mit 3×120 Volt zu, an welches die Stromverbrauchsapparate der Konsumenten angeschlossen sind.

Der rapide zunehmende Konsum erforderte bald eine weitere Vermehrung der Betriebsmittel, und es sind gegenwärtig vorhanden: sechs Wasserröhrenkessel und zwei Flammrohrkessel mit insgesamt 1105 m² Heizfläche, sieben Dampfdynamos mit einer normalen Gesamtleistung von 3300 PS und 2400 KW bei 50 Perioden.

16. Dortmund.[1] Das Dortmunder Elektrizitätswerk, welches im Dezember 1897 dem Betrieb übergeben wurde, ist von der Stadt in eigener Regie erbaut. Die lokalen Verhältnisse brachten es mit sich, dass zur Befriedigung des Strom-

1) Vgl. „Das städtische Elektrizitätswerk in Dortmund", bearbeitet von Dir. C. Döpke.

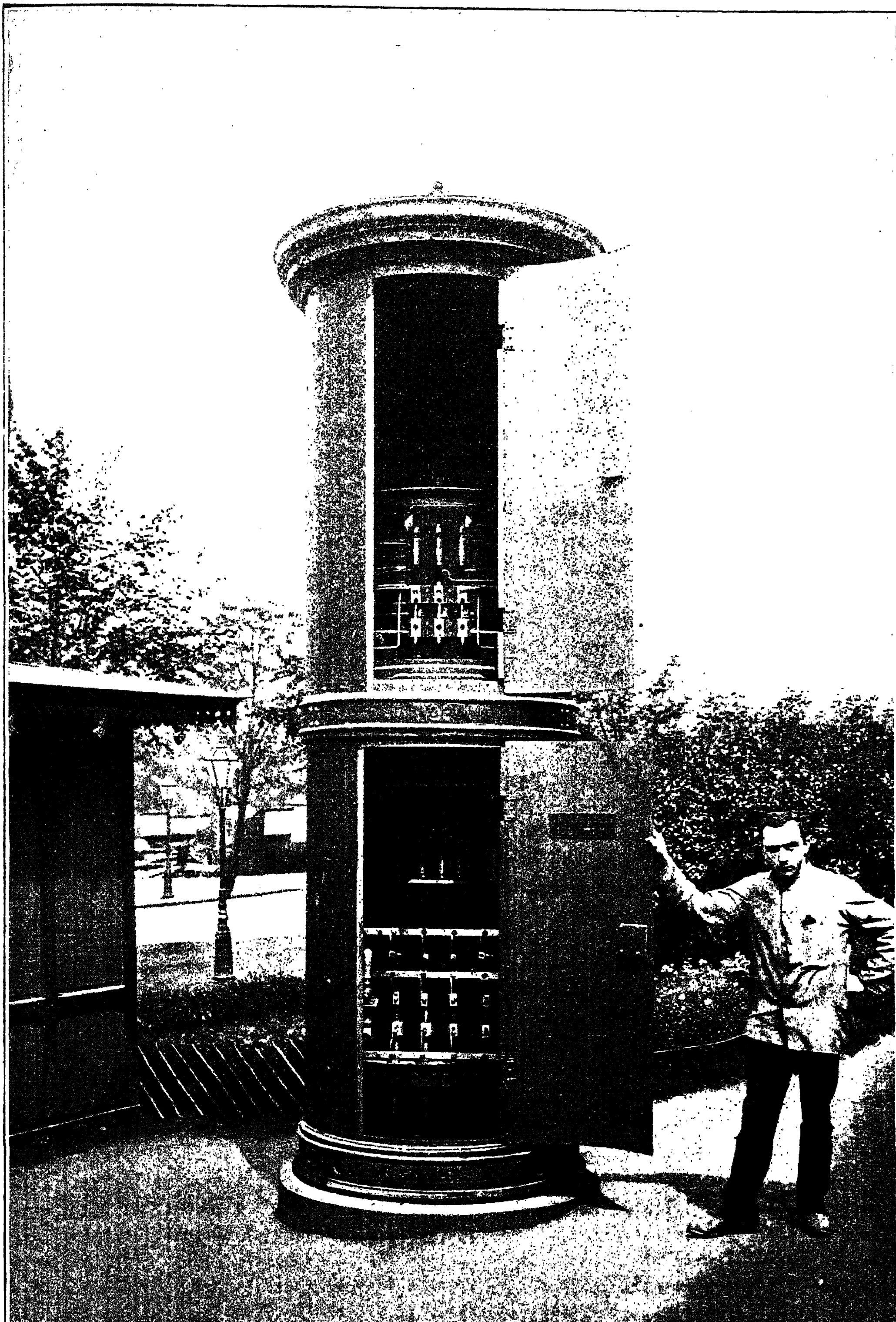


Fig. 30. Transformator der elektrischen Stromverteilung.

bedürfnisses von vornherein drei verschiedene Stromsysteme vorgesehen wurden, und zwar für den inneren Stadtteil mit vorwiegendem Lichtbedürfnis das Gleichstrom-Dreileitersystem mit 2×110 Volt und blankem Mittelleiter, für den ausserhalb liegenden Teil mit seinem ausgeprägten industriellen Charakter Drehstrom von 2600/120 Volt und schliesslich für die spätere Versorgung der elektrischen Strassenbahnen Zweileiter-Gleichstrom mit Schienenrückleitung. Die gesamte benötigte Energie wird in einer Centralstation, welche etwa an der Peripherie des inneren Absatzgebietes liegt, erzeugt. Um die Gleichstromabgabe rationeller zu gestalten, sind zwei Unterstationen, zu welchen später noch eine dritte hinzugetreten ist, symmetrisch zum Konsumschwerpunkt angelegt, und zwar soll die Primärstation etwa $^3/_9$ und die Unterstationen etwa $^6/_9$ der Stromlieferung übernehmen.

Entsprechend der Verschiedenheit der Stromsysteme sind auch die Dampfdynamos mit zugehörigen Schalttafeln getrennt angeordnet, jedoch mit der Einschränkung, dass zwei Gleichstromdynamos des Dreileitersystems durch Serienschaltung für die Zwecke des Bahnbetriebes Verwendung finden können. Die Akkumulatoren-Unterstationen werden zunächst von der Primärstation direkt mit Gleichstrom versorgt, jedoch ist bei wachsendem Strombedürfnis eine Umformung von Drehstrom in Gleichstrom vorgesehen.

Das mit Bahnanschluss versehene Grundstück von 15 830 m² ist ausreichend für eine Leistungsfähigkeit von 20 000 PS, und giebt Fig. 31 eine Übersicht über die gesamte Disposition. Ausser den Hauptbetriebsräumen umfassen die Gebäulichkeiten der Primärstation noch zwei Akkumulatorenräume, sowie die erforderlichen Nebenräume, wie Werkstatt, Magazin, Mannschaftszimmer, Wasch- und Baderaum. Auf der Westseite des Kesselhauses befinden sich zwei Schornsteine von 60 m Höhe und 2·5 m obere lichte Weite, ausreichend für eine Heizfläche von 1800 m².

Die Kesselanlage (Fig. 32) besteht aus zwei einander gegenüberliegenden Reihen von Wasserröhrenkesseln von je 275 m² Heizfläche für 12 Atmosphären mit eingebautem Überhitzer, welch letztere jedoch neuerdings durch separat gefeuerte Überhitzer ersetzt sind; auch ist die Erweiterung der Kesselanlage durch Flammrohrkessel vorgesehen.

Die Kesselspeisevorrichtung entnimmt das Kesselspeisewasser dem Centralkondensator. Um dasselbe von Öl frei zu halten, wird das aus den Dampfmaschinen in das gemeinschaftliche Abdampfrohr tretende Gemisch von Kondensat und Dampf vor dem Eintritt in den Kondensator durch eine kleine Kondensatpumpe, welche die schmutzig-gelbe ölhaltige Flüssigkeit beiseite schafft, entwässert. Der verbleibende Rest wird nach der Kondensierung gefiltert und in die Wasserbehälter gedrückt, welche unter dem Kesselhaus liegen. In dieselben Behälter münden die reinen Kondensate, wodurch das Speisewasser auf eine Temperatur von etwa 90° gebracht wird. Die Speisepumpen sind aus Betriebs-Sicherheitsgründen durch Anordnung der Rohrleitung so eingerichtet, dass sie entweder aus dem Kondensatwasser-Messbehälter, oder aus dem Zirkulations-Wasserbehälter, oder aus den Wasserbehältern unter dem Kesselhaus saugen können; auch besitzt jede Pumpe eine besondere patentgeschweisste schmiedeeiserne Druckrohrleitung, welche durch ein Ventil verbunden werden kann. Ebenso ist die Pumpendampfleitung doppelt ausgeführt.

Die Hauptdampfleitung ist ebenfalls aus Gründen der Betriebssicherheit als doppelte Ringleitung mit doppeltem Anschluss an Kessel und Dampfmaschinen ausgeführt. Dieselbe besteht aus patentgeschweissten, schmiede-

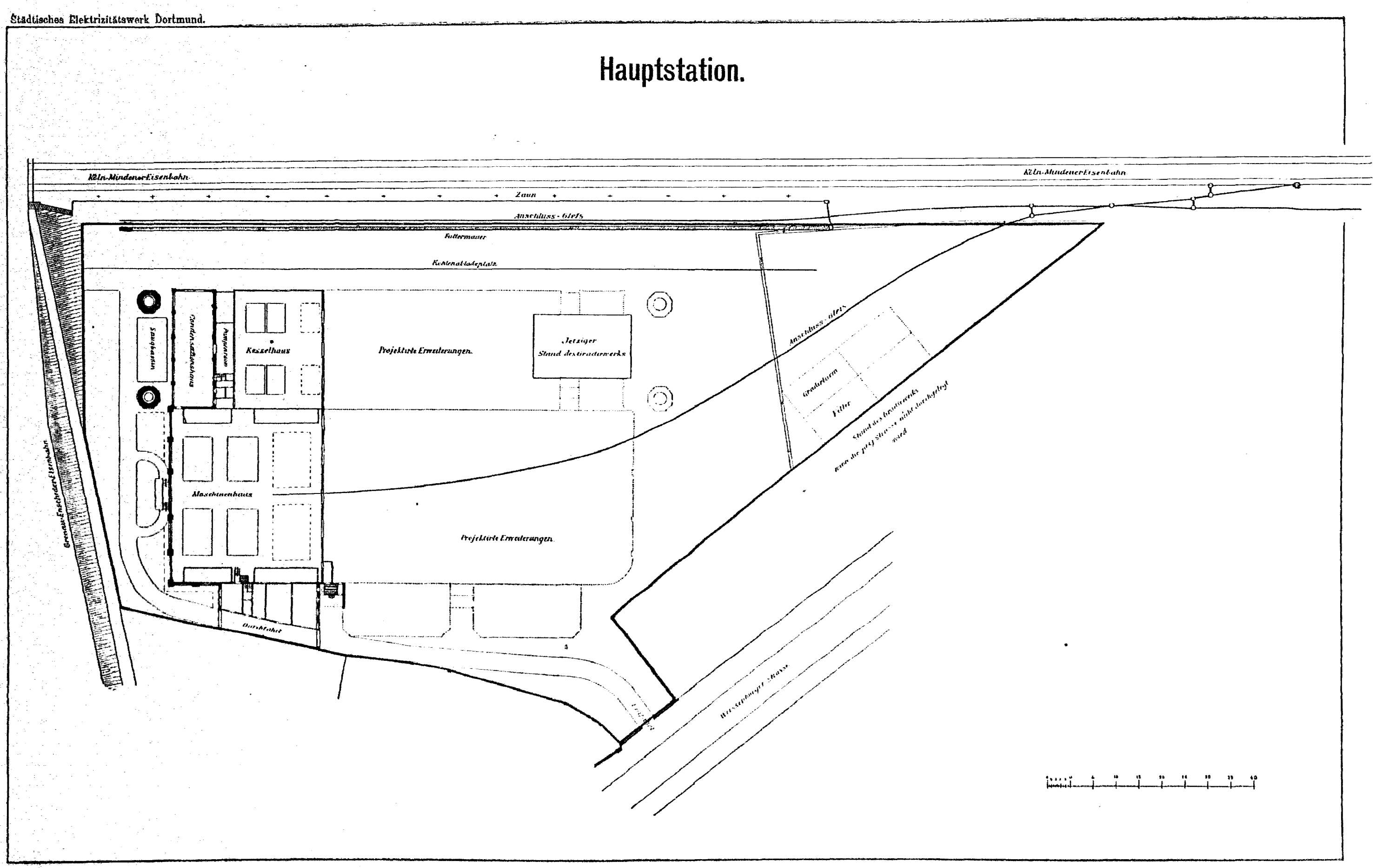


Fig. 31. Städtisches Elektrizitätswerk Dortmund. Situationsplan.



Fig. 32. Städtisches Elektrizitätswerk Dortmund. Kesselhaus.

eisernen Rohren von 300 mm Durchmesser. Zur ungehinderten Ausdehnung ist dieselbe auf kleinen Ruhewagen gelagert. Die Krümmer bestehen aus hartgewalztem Kupfer. Das von den Maschinen zur Central-Kondensationsanlage führende schmiedeeiserne Abdampfrohr von 955 mm Durchmesser ist an der entgegengesetzten Seite mit einem automatisch wirkenden Auspuffventil versehen, damit beim Versagen des Kondensators der Dampf entweichen kann.

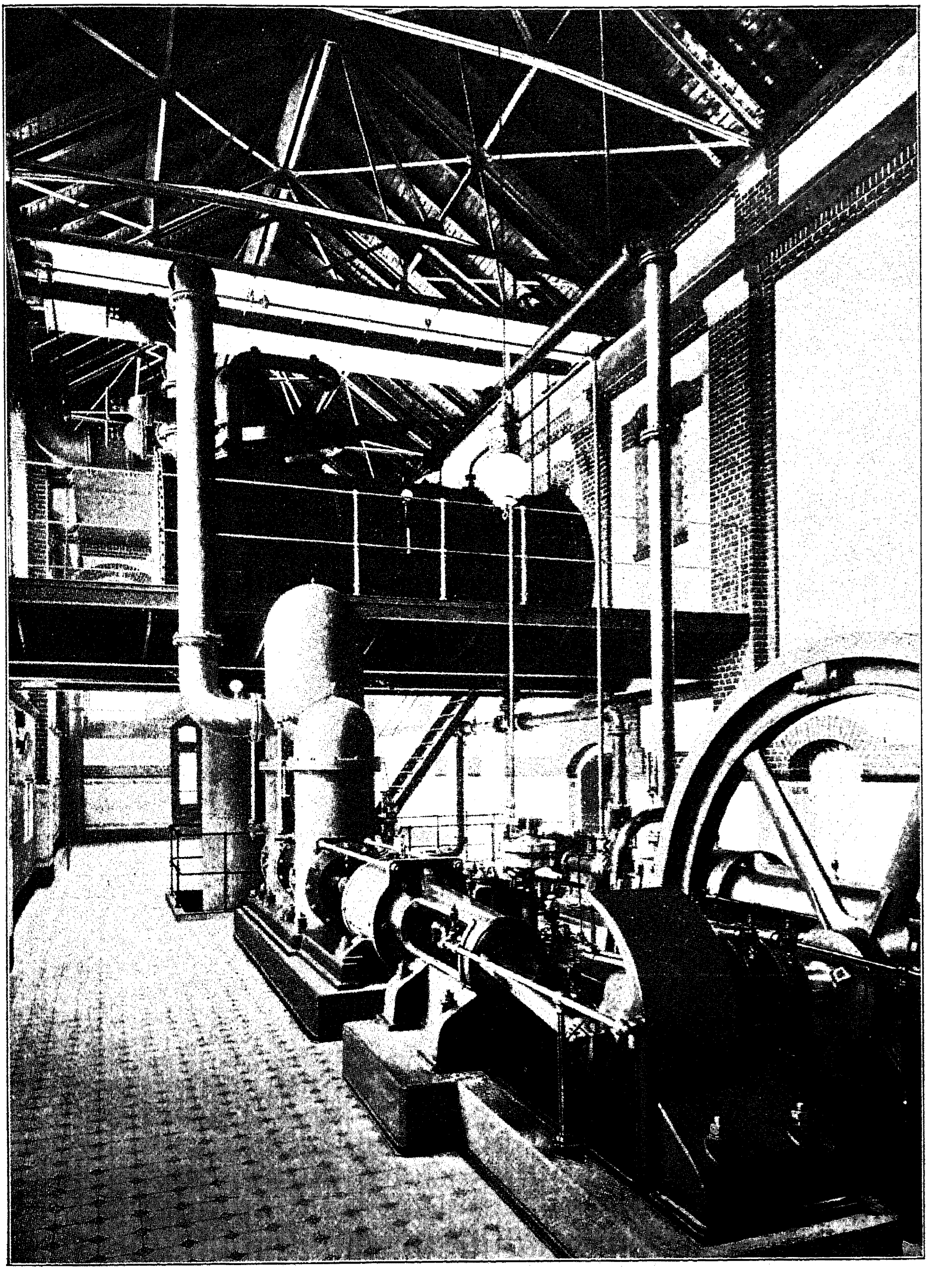


Fig. 33. Städtisches Elektrizitätswerk Dortmund. Kondensationsanlage.

Der nach dem Gegenstromprinzip gebaute Oberflächen-Kondensator der Central-Kondensationsanlage Fig. 33, welche für eine stündliche Leistung von 15000 kg angelegt ist, und bei einem Kondensat von 60^0 C. ein Vacuum von 83 % erzeugt, besitzt eine Kühlfläche von 483 m². Das Wasser geht durch die Rohre, und der an der Austrittsseite des Kühlwassers einströmende Dampf schlägt sich an den Aussenwänden der Rohre nieder. Die zugehörige

Luftpumpe, Wasserpumpe und Kondensatpumpe werden von einer 25 PS liegenden Dampfmaschine mit Expansionsschieber-Steuerung angetrieben.

Die Abkühlung des Zirkulationswassers erfolgt in einem Kühlturm von 28 m Höhe, auf welchen das Wasser in 7 m Höhe durch Rinnen verteilt wird und tropfenweise in den unmittelbar unter dem Turm liegenden Wasserbehälter gelangt. Der durchschnittliche Verbrauch an Kühlwasser beträgt für die erzeugte KWStd etwa 7 kg.

Die in zwei Reihen projektierten Dampfmaschinen, von denen die eine Reihe zur Erzeugung von Drehstom und die andere Reihe von Gleichstrom bestimmt ist, sind als liegende Verbund-Dampfmaschinen in Zwillingsanordnung für 9·5 Atm. vorgesehen und mit Kollmann-Ventilsteuerung sowohl am Hochdruck- als auch am Niederdruckcylinder ausgerüstet. Der Füllungsgrad des Hochdruckcylinders wird durch einen Federregulator, der vom Schaltbrett aus auf elektrischem Wege beeinflusst werden kann, reguliert, während der Füllungsgrad des Niederdruckcylinders nur von Hand aus verändert werden kann. Eine Verbindung zwischen der Frischdampfleitung und dem Receiver ermöglicht das Anlaufen der Maschine bei jeder Kurbelstellung.

Um mit einer einzigen in Betrieb befindlichen Dampfmaschine der Gleichstromseite erforderlichenfalls Strom von verschiedener Spannung erzeugen zu können, was z. B. notwendig wird, wenn sowohl das Leitungsnetz der Hauptstation mit Strom versorgt werden soll, als auch gleichzeitig die Unterstation zu unterstützen ist oder die Ladung der Batterie vorgenommen wird, sind die Gleichstromdynamos als Doppeldynamos ausgebildet (Fig. 34). Jede Einzeldynamo hat einen Ankerdurchmesser von 4000 mm, der von 30 Magnetpolen umgeben ist; die Leistung jeder Hälfte beträgt 200 KW bei 220—370 Volt.

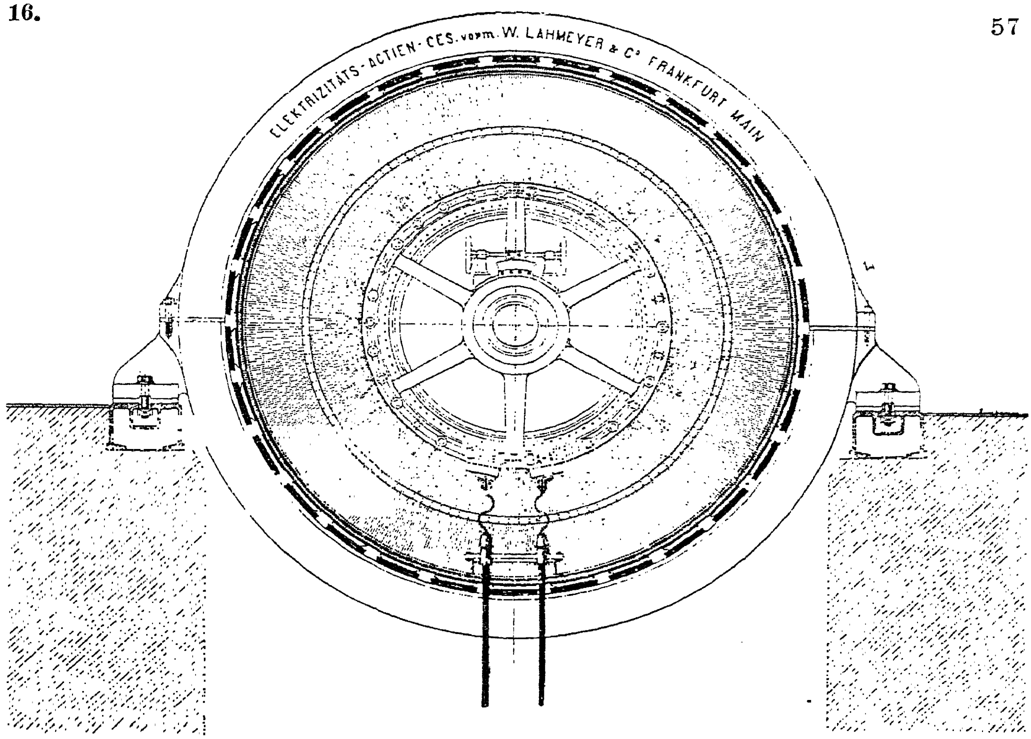
Bemerkenswert ist noch die Einrichtung der Gleichstrom-Schaltanlage, um die Speisekabel in zwei Gruppen teilen zu können, damit die kurzen und langen Speiseleitungen gegebenenfalls während der Hauptbelastung an verschiedenen Spannungen liegen, wodurch eine günstigere Ausnutzung des Leitungsmaterials ermöglicht ist. Ausserdem sind in der Primärstation für die verschiedenen Unterstationen getrennte Sammelschienen vorgesehen, damit die denkbar grösste Unabhängigkeit jeder Station gewahrt bleibt.

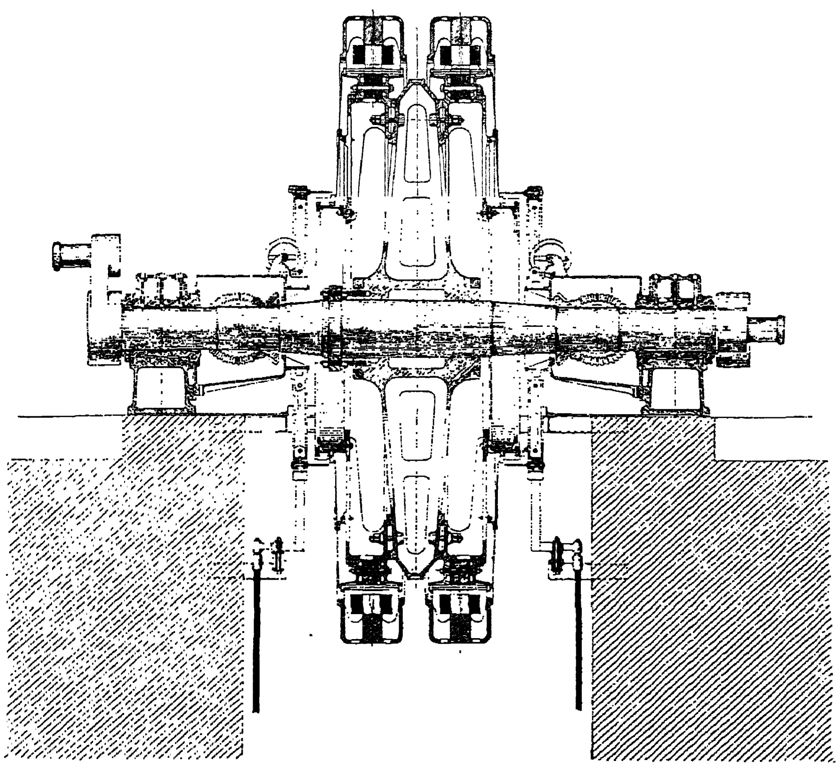
An Betriebsmitteln waren in der Primärstation zu Anfang des Jahres 1904 vorhanden:

Acht Dampfkessel mit zusammen 1940 m² Heizfläche nebst zwei separat gefeuerten Überhitzern, drei Drehstromdampfdynamos von zusammen 1600 KW, sowie drei Dampfmaschinen mit zusammen sechs Gleichstromdynamos von insgesamt 1600 KW, sowie zwei Akkumulatorenbatterien von 355 KW. Hierzu treten in den drei Unterstationen noch 660 KW an Akkumulatoren und 100 KW an Motordynamos.

Mit diesen Betriebsmitteln wurden vom 1. April 1903 bis 31. März 1904 bei einem Anschlusswert von 3623 KW für Licht und 1404 KW für Kraft im Gleichstromnetz, sowie 447 KW Licht und 2264 KW Kraft im Drehstromnetz den Konsumenten an Nutzenergie zugeführt:

für Licht	Gleichstrom	1 442 400	KWStd
	Drehstrom	470 928	„
für Kraft	Gleichstrom	485 803	„
	Drehstrom	1 741 132	„
	in Sa.:	4 140 263	KWStd





GLEICHSTROM-DOPPEL-DYNAMO-MASCHINE.

Fig. 34. Städtisches Elektrizitätswerk Dortmund.

Bezieht man diese Stromabgabe auf die gesamte Einwohnerzahl, so entfallen auf je 1000 Einwohner an Licht 12304 KWStd und an Kraft 14321 KWStd, das ist ein sehr bemerkenswertes Ergebnis.

17. Clausthal-Zellerfeld a. H. Die grossen wirtschaftlichen Vorzüge, welche der Gasmotorenbetrieb in Verbindung mit der Selbstbereitung des Gases für Elektrizitätswerke kleineren Umfanges aufweist, veranlassten den Magistrat der ca. 9000 Einwohner zählenden Harzstadt Clausthal mit der Firma GEBR. KÖRTING im Frühjahr 1897 einen Vertrag auf Errichtung und Betriebsführung eines durch Generatorgas zu betreibenden Elektrizitätswerkes abzuschliessen, dem im Jahre 1898 die benachbarte Stadt Zellerfeld mit rund 4500 Einwohnern beitrat.

Die Centrale, welche ungefähr in der Mitte des Konsumgebietes liegt, besteht der Hauptsache nach, wie Fig. 35, 36 u. 37 zeigen, aus dem Kraftgasgeneratoren- und Reinigerraum mit vorgelagertem Kohlenschuppen, der Maschinenhalle mit anschliessendem Akkumulatorenraum, sowie Räumen für Bureau, Werkstatt und Lager, denen sich im Oberquergeschoss eine geräumige Wohnung für den Betriebsleiter anschliesst.

Der Kraftgasgeneratorenraum ist für drei Generatoren mit zugehörigen kleinen Dampferzeugern eingerichtet, welche in einer durch eine eiserne Treppe besteigbaren, mit Geländer abgegrenzten Grube stehen und eine zum Betrieb von 300 PS ausreichende Menge Gas zu erzeugen vermögen. Vor den Generatoren ist die Grube durch eine in Fusshöhe des Maschinenhauses liegende Trägerdecke überwölbt und dient letztere als Heizerstand, weshalb die Fülltrichter der Generatoren dieser Seite zugewandt sind. Seitlich vor jedem Generator steht auf der Trägerdecke der zugehörige Dampferzeuger, dessen Feuergase durch einen eisernen Schornstein entweichen.

Das erzeugte Kraftgas giebt seine Wärme an die Vorwärmeeinrichtungen für die Vergasungsluft ab (Fig. 38) und wird sodann in den Wascher- und Reinigerraum geleitet. Von hier aus strömt das Gas einem gemeinsamen Gasdruckregler zu, dessen Glocke durch Ketten mit dem Dampfventil der Generatorgebläse verbunden ist, damit sich die Erzeugung des Gases dem jeweiligen Verbrauch genau anpasst. Um die Gefahr des Einfrierens über Nacht zu beseitigen, ist der Gasdruckregler in einem gemeinsamen Raum mit den Reinigungsapparaten aufgestellt. Ausserdem ist der Wasserbehälter des Druckreglers noch mit einer von den Dampferzeugern gespeisten Heizschlange ausgerüstet.

Behufs leichter Bedienung beim Heben der Deckel u. s. w. sind durch den Wascher- und Reinigerraum eiserne Träger geführt, an welchen Laufkatzen mit Flaschenzügen bewegt werden können.

Der Betrieb der Kraftgasanlage vollzieht sich ungemein einfach. Der Heizer hat nur von Zeit zu Zeit den Generator aus dem hinter ihm liegenden Kohlenraum mit Feuerungsmaterial zu versorgen und die kleinen Dampferzeuger zu bedienen, zu deren Feuerung meistens der zur Vergasung nicht gut verwendbare Kohlengrus benutzt wird.

In den Betriebspausen lässt man den Generator nicht ausgehen, sondern erhält in ihm die glühende Kohlenschicht durch mehr oder weniger grosse Öffnung des Abzuges über Dach. Der hierdurch bedingte Verbrauch an Feuerungsmaterial ist minimal, derselbe betrug z. B. im Hochsommer bei 18stündiger täglicher Betriebspause nur ca. 40 kg Kohlen.

Die Maschinenhalle ist für die Aufnahme von drei KÖRTINGschen Gasdynamos von je 70 PS mit 140 minutlichen Umdrehungen eingerichtet. Der

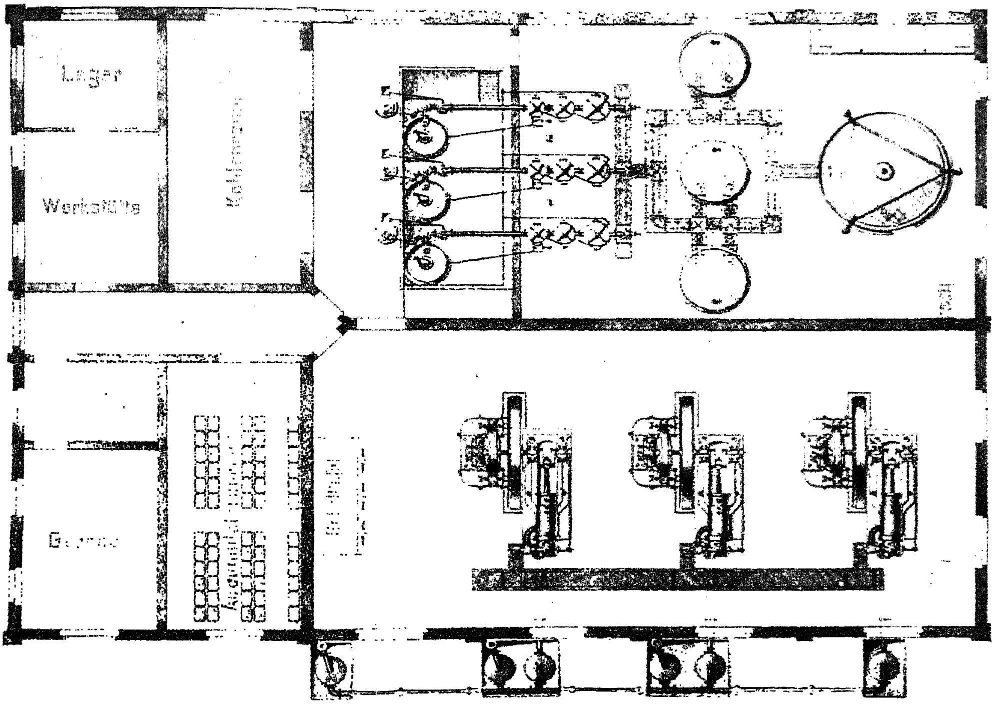


Fig. 35.

verwendete Regulator arbeitet so präcise, dass bei plötzlicher Be- oder Entlastung um 50 $^0/_0$ der normalen Leistung nur eine Tourenänderung von kaum 3 $^0/_0$ eintritt. Eine Vorrichtung am Regulator ermöglicht die Tourenzahl während des Ganges bis 15 $^0/_0$ zu erhöhen, wodurch das Laden der Akkumulatoren ohne Zusatzmaschinen bewirkt werden kann.

Die direkt gekuppelten Dynamos sind Nebenschlussmaschinen von je 46 KW Leistung, bei einer Spannung von 220—345 Volt, welche auf die Aussenleiter des Dreileiternetzes von 2 $\times$ 110 Volt geschaltet werden.

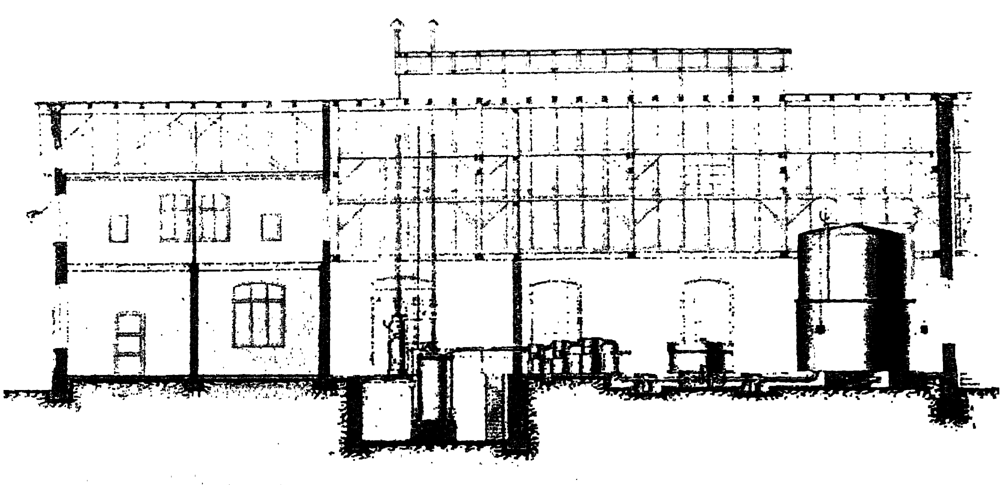


Fig. 36.

Das für die Kraftgasanlage und für die Kühlung der Gasdynamos notwendige Wasser wird einem an der Centrale vorbeifliessenden Bache nach vorgängiger Reinigung in einem Kiesfilterbassin entnommen. Die benötigte Wassermenge beträgt kaum 50 l für die PS-Stunde, welche nach Gebrauch dem Bache wieder zugeführt werden. Dieses Wasser wird durch eine im Maschinenraum aufgestellte, elektrisch angetriebene, doppeltwirkende Saug- und Druckpumpe in einen auf dem Dachboden stehenden Behälter gehoben, von wo es den Gebrauchsstellen zufliesst. Als Reserve ist eine Handpumpe im Reinigerraum angebracht.

Die Schalttafel ist auf einer Bühne erhöht angeordnet und enthält alle erforderlichen Schalt-, Regulier-, Mess- und Sicherheitsapparate einschliesslich der Doppel-Zellenschalter. Da Gasmaschinen bekanntlich nicht von selbst angehen, so sind auf der Schalttafel auch Schalteinrichtungen getroffen, um die Dynamos mit Batteriestrom als Elektromotoren zum Antrieb der Gas-

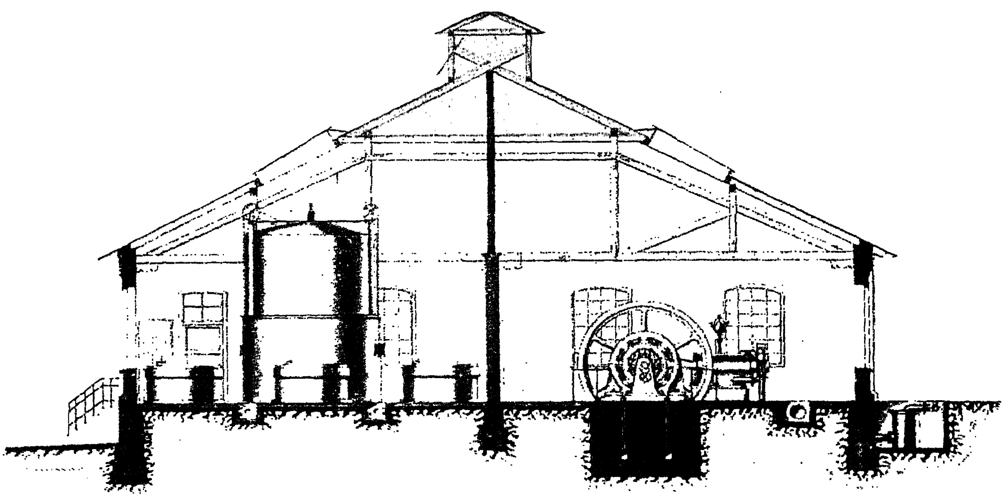


Fig. 37.

maschinen laufen lassen zu können. Sämtliche Verbindungsleitungen für die Apparate der Schalttafel sind rückwärts übersichtlich angeordnet und von hinten leicht zugänglich.

Die Akkumulatorenbatterie besteht aus 132 Elementen, Type *E* 21, der Akkumulatorenfabrik Aktien-Gesellschaft, mit einer Kapazität von 334 Amp.-Std. bei dreistündiger Entladung. Die Holzkästen der Elemente sind so gross gewählt, dass im Bedarfsfalle eine Vergrösserung der Leistung durch Einbau weiterer Platten möglich ist.

Etwaige Ungleichheiten der Beanspruchung beider Hälften der Batterie werden dadurch ausgeglichen, dass sowohl einzelne Gruppen von Lampen für die Beleuchtung der Centrale als auch der zum Antrieb der Wasserpumpe dienende Elektromotor nach Belieben auf die eine oder andere Seite des Dreileitersystems umschaltbar angeordnet sind.

Das Elektrizitätswerk, welches seit seiner im März 1898 erfolgten Inbetriebsetzung stets anstandslos gearbeitet hat und sich grosser Beliebtheit bei der Bevölkerung beider Städte erfreut, weist auch in seinen Betriebsergebnissen, schon von der Inbetriebsetzung an, recht beachtenswerte Zahlen

auf. Es betrug z. B. die auf 1 kg Kohle entfallende, an das Leitungsnetz abgegebene Energie

im Jahre 1898	April	für jedes kg Kohle abgegebene WStd.:	469
	Mai	„ „ kg „ „ „	584
	Juni	„ „ kg „ „ „	572
	Juli	„ „ kg „ „ „	626
	August	„ „ kg „ „ „	721
	September	„ „ kg „ „ „	750
	Oktober	„ „ kg „ „ „	807
	November	„ „ kg „ „ „	815
	Dezember	„ „ kg „ „ „	713
im Jahre 1899	Januar	„ „ kg „ „ „	712
	Februar	„ „ kg „ „ „	698
	März	„ „ kg „ „ „	771
		Jahresdurchschnitt WStd.	707
	1899—1900	„ „	815
	1900—1901	„ „	800
	1901—1902	„ „	735
	1902—1903	„ „	719
	1903—1904	„ „	800

Verfeuert wurde eine Mischung von deutschem Anthracit und Hüttenkohle im Verhältnis von 1:1. Da die angegebenen Kohlenverbrauchsziffern sämtliche Verluste durch Anheizen, Dampferzeugung u. s. w. einschliessen, so müssen dieselben als äusserst günstige bezeichnet werden, welche nur von ganz grossen und mit allen Hilfsmitteln der Technik ausgerüsteten Dampfmaschinenanlagen bis jetzt erreicht worden sind.

18. München.[1])

Nachdem durch gütliche Einigung mit der Gasanstalt im Jahre 1891 ein Ablösungsvertrag zu stande gekommen war, durch welchen der Stadtgemeinde das Recht eingeräumt wurde, zunächst eine Kraftanlage von 300 PS für öffentliche elektrische Beleuchtung, welche vom 1. Januar 1896 ab auf 600 PS erhöht werden durfte, zu errichten, wurde bald mit dem Bau eines Elektrizitätswerkes beim ehemaligen Muffatbrunnhaus begonnen. Ausserdem wurde 1895 zur Ausnutzung des Gefälles unterhalb der Maximiliansbrücke das Maximilianswerk gebaut, welche beiden Centralstationen auch jetzt noch der elektrischen Strassenbeleuchtung und dem elektrischen Trambahnbetrieb dienen. Erst im Jahre 1898 war es möglich, die Stromlieferung an Private aus dem inzwischen gebauten Elektrizitätswerk in der Staubstrasse, in Verbindung mit zwei Unterstationen, aufzunehmen.

Als Strom-Verteilungssystem wurde das Gleichstrom-Dreileitersystem für 2×110 Volt Nutzspannung mit blankem Mittelleiter gewählt. Die Sammelschienenspannung beträgt 2×120 Volt. Die Stationsspannung für den Trambahnbetrieb und die Strassenbeleuchtung, für welche getrennte Leitungsnetze bestehen, ist 660 Volt. Da die relativ geringe Netzspannung von 2×110 Volt eine grössere Anzahl im Stadtgebiet zerstreuter Stromverteilungsanlagen erforderte, es jedoch geboten erschien, die Dampfmaschinenanlagen in einer einzigen Centralstation zusammen zu fassen, um durch Aufstellung grösserer und ökonomischerer Maschinen den Betrieb billiger zu gestalten, so wurde

1) Vgl. Z. d. V. d. I. 1905, S. 37.

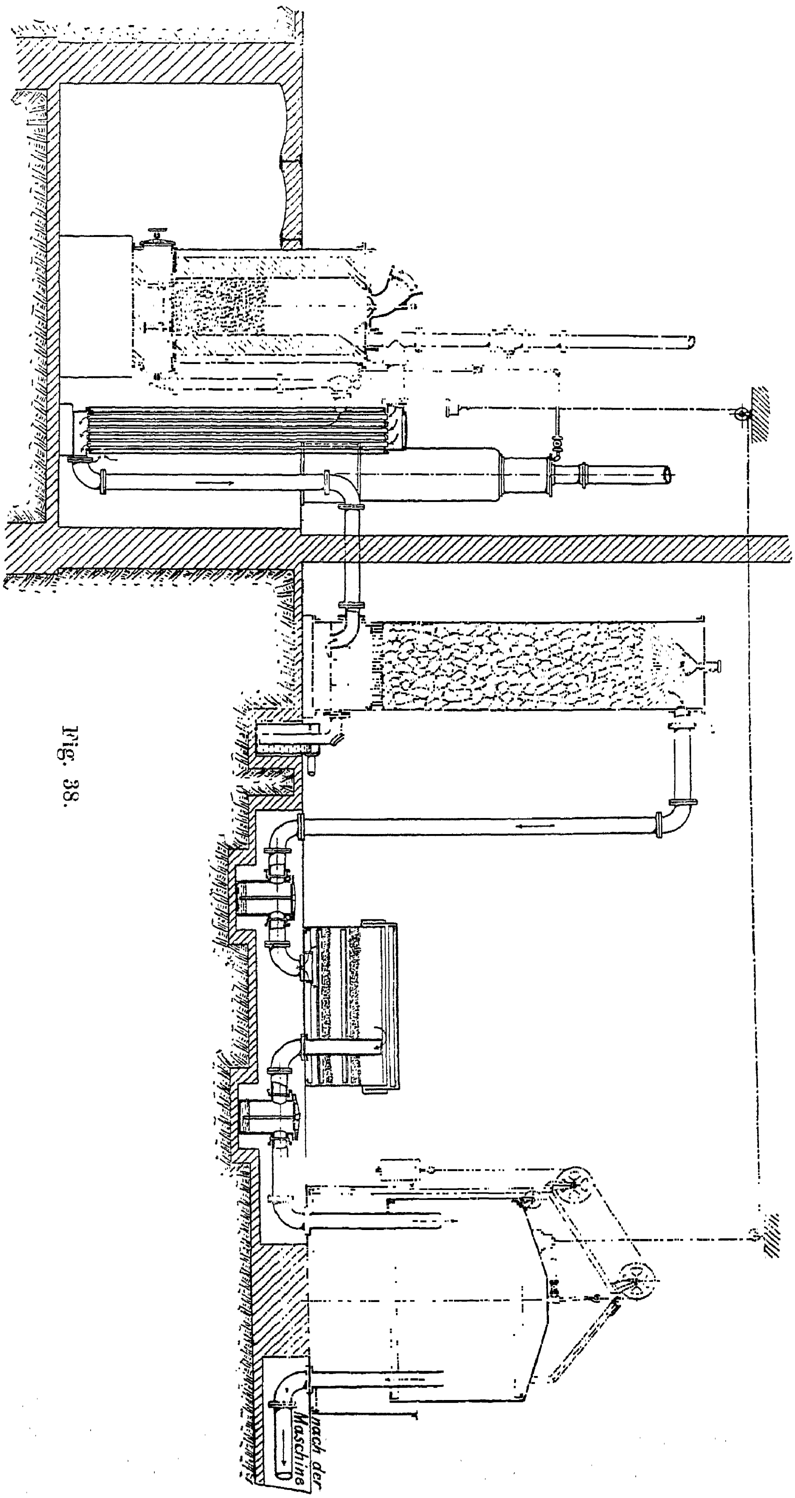


Fig. 38.

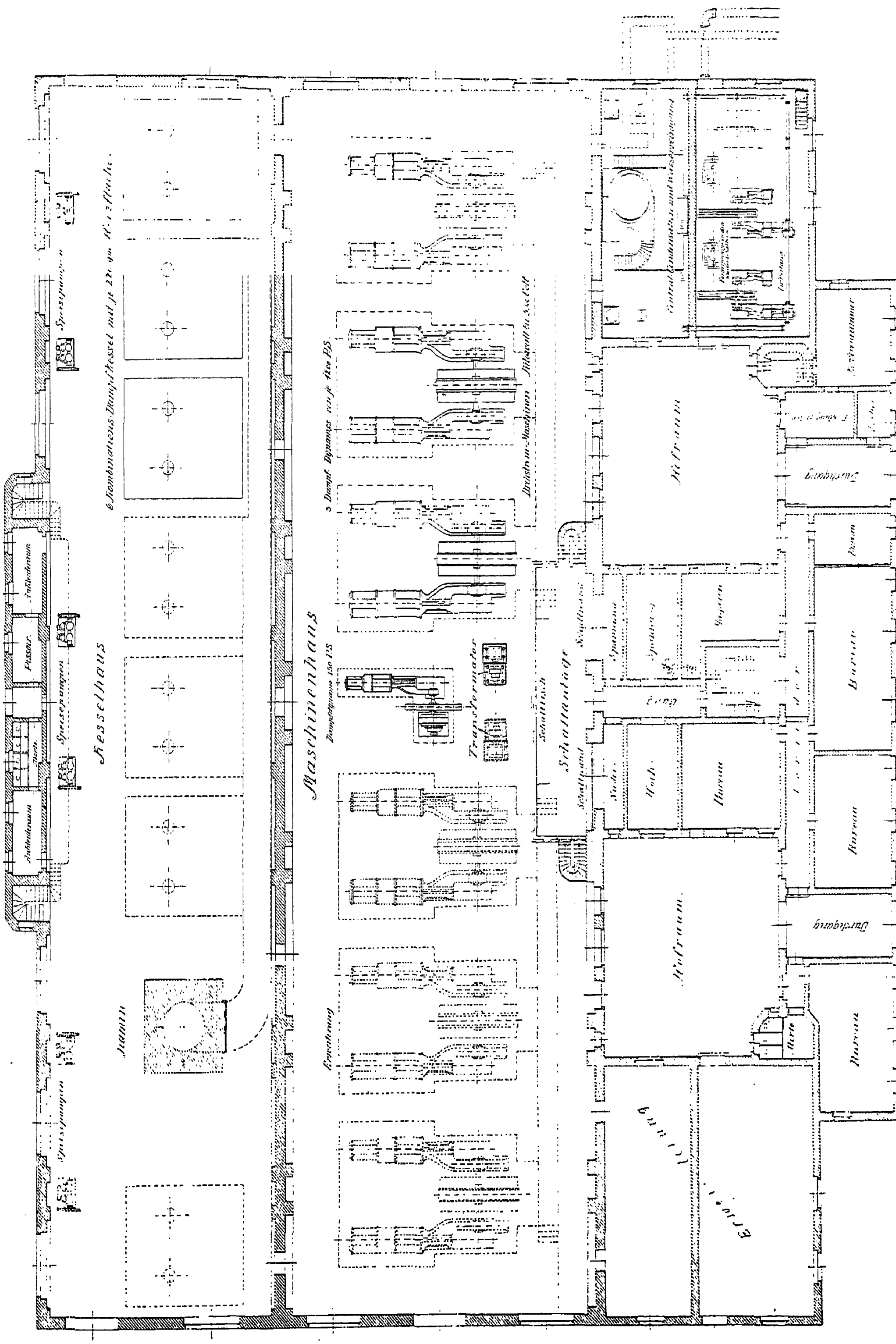

Kesselhaus
Maschinenhaus
Schaltanlage
Transformator
Hilfsraum
Durchgang
Bureau

Fig. 39.

die Energieübertragung nach den Stromverteilungspunkten mittels hochgespannter Ströme bewirkt. Diese Anordnung ermöglichte eine wesentliche Ersparnis an Grundstückskosten, und ausserdem gestaltete sich die Wasserbeschaffung und Kohlenzufuhr bedeutend günstiger, als dies bei den Stadtcentralen möglich gewesen wäre; auch fällt die Belästigung der Anwohner durch Rauch und Geräusch sowie durch die Kohlenzufuhr fort.

Die Stromerzeugungsanlage in der Staubstrasse (Tfl. VII u. Fig. 39), jetzt Isarthalstrasse genannt, enthält sechs Dampfdynamos von je 1200 PS, für deren Montage und Reparatur ein Laufkran von 40 000 kg Tragfähigkeit bei 23·6 m Spannweite zur Verfügung steht. Die Drehstromdynamos der Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft vormals Schuckert & Co. sind für eine Spannung von 5000 Volt und 50 Perioden bei 83·5 Umdrehungen pro Minute gebaut und leisten 800 KW. Die Dampfmaschinen der Firma J. A. Maffei sind Dreifach-Expansionsmaschinen mit Ventilsteuerung und geteiltem Niederdruck-Cylinder. Zwischen den beiden Kurbeln ist die Dynamo eingebaut. Der Ungleichförmigkeitsgrad beträgt 1:200. Für die Erregung dienen drei Gleichstrommaschinen von je 80 KW. Zwei derselben werden durch Drehstrommotoren und die dritte durch eine Compound-Dampfmaschine liegender Anordnung von 120 PS angetrieben.

Parallel zu den Erregerdynamos, von welchen auch die Beleuchtung des Werkes abgezweigt ist, ist eine Dreileiter-Akkumulatorenbatterie von 2×60 Zellen geschaltet.

An die Längswand des Maschinenhauses schliesst sich das Kesselhaus. Dasselbe enthält sieben Kesselpaare von insgesamt 3580 m^2 Heizfläche, welche die Rauchgase in einen gemeinsamen Schornstein von 58 m Höhe abführen. Die Dampfkessel bestehen aus einem Unterkessel mit zwei Feuerungsrohren und einem Oberkessel mit Rauchrohren. In dieselben ist die rauchlose Feuerung „Patent Zeiller“ eingebaut, welche befriedigende Resultate ergiebt.

Die Kohlenzufuhr erfolgt durch Gleisanschluss an die Lokalbahn. Die Kohlenwagen werden direkt in den Kohlenkeller entleert. Hier wird die Kohle zerkleinert, in Hunde gefasst, gewogen und durch einen elektrischen Aufzug bis in das Kesselhaus gehoben. Asche und Schlacken werden durch ähnliche Hunde mit Hilfe eines elektrischen Aufzuges in die Höhe befördert und alsdann durch Umkippen der Plattform des Aufzuges bei gleichzeitiger Auslösung einer Wasserbrause in die vor dem Kesselhause bereit gestellten Specialwagen staubfrei entleert.

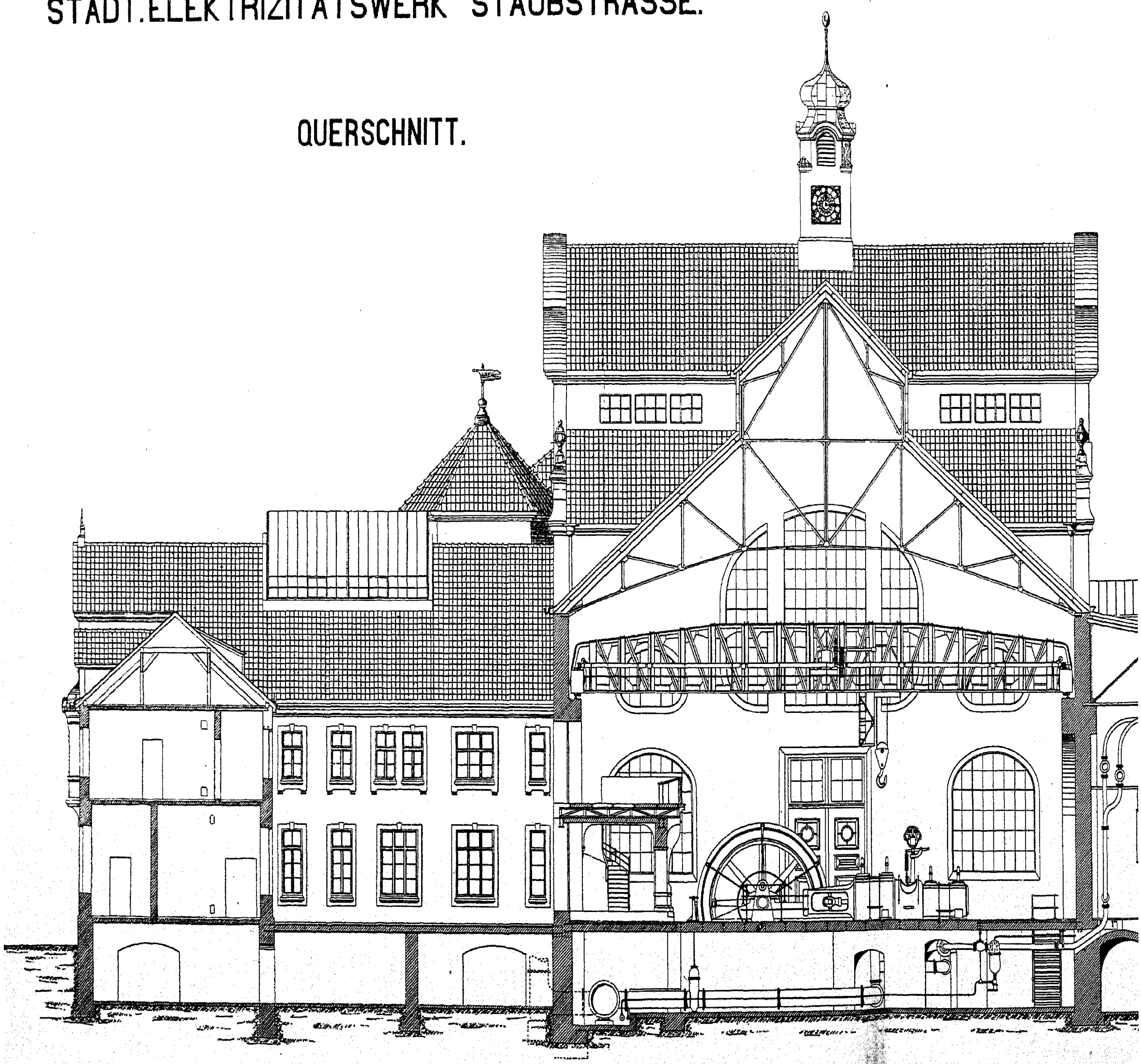
Für die Central-Kondensationsanlage der Dampfmaschinen sind Weisssche Gegenstrom-Kondensatoren in Anwendung gebracht. Das Speise- und Kondensationswasser wird dem benachbarten Stadtbache entnommen.

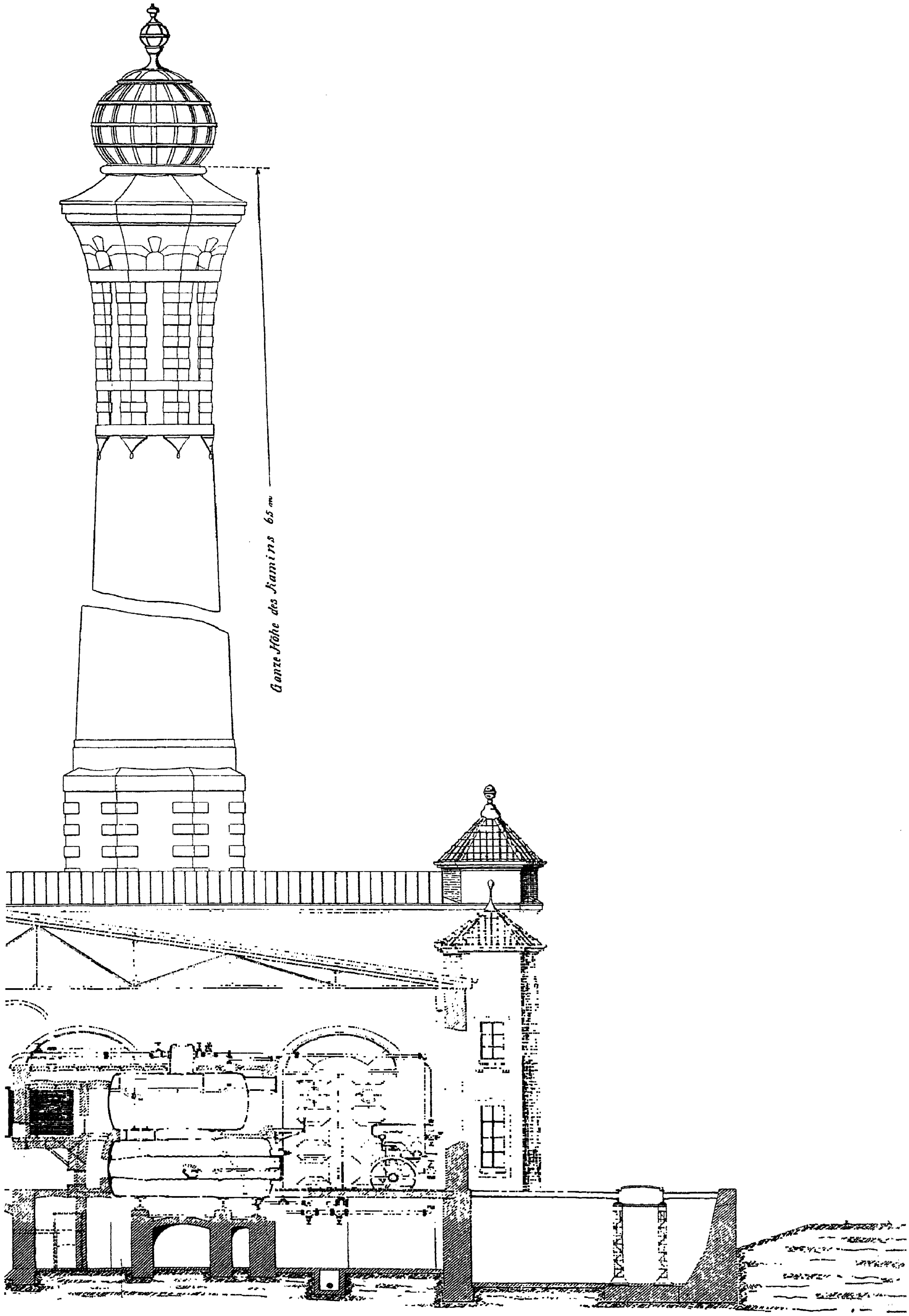
An der Längswand des Maschinenhauses ist die Schalttafel angeordnet. Die Hochspannungs- und Niederspannungs-Apparate sind in anstossenden Lokalitäten untergebracht und werden durch Hebel und mechanische Übertragungsmechanismen von einem Podium aus bedient, welches sich im ersten Stock befindet, so dass die Schaltbrettwärter das ganze Maschinenhaus überblicken können.

Von den Sammelschienen führen je zwei dreifach verseilte Drehstromkabel zu den Schienen der Unterstationen. Der Gleichstrom wird durch Motorgeneratoren erzeugt unter Verwendung synchroner Motoren, deren sekundäre Spannung so weit gesteigert werden kann, um die Ladung der Akkumulatorenbatterie von 144 Zellen zu bewirken.

STÄDT. ELEKTRIZITÄTSWERK STAUBSTRASSE.

QUERSCHNITT.





Verlag von S. Hirzel in Leipzig.

Die Unterstationen, von denen einschliesslich des Muffatwerkes zur Zeit sieben bestehen, enthalten insgesamt 14 Umformer mit einer Leistung von sekundär 4840 KW und 14 Akkumulatorenbatterien von 52 722 Amp.-Std. Kapazität bei einer dreistündigen Entladedauer. Die Gleichstrom-Speiseleitungen sind in zwei Gruppen so angeordnet, dass denselben mit Hilfe der Doppelzellenschalter zwei verschiedene Spannungen zugeführt werden können. Die niedere Spannung dient zur Versorgung der kürzeren Kabel und die höhere Spannung für die langen.

Das Muffatwerk enthält im alten Teil eine Wasserturbine von 180 PS und eine liegende Dampfmaschine von 300 PS. In der daran anschliessenden neuen Maschinenhalle sind zwei Dampfdynamos von 250 PS normal und 325 PS maximal, und zwei von 500 PS normal und 700 PS maximal untergebracht. Die ersteren sind stehende Verbundmaschinen mit flachem, entlastetem Grundschieber und Expansions-Kolbenschieber am Hochdruck- und entlastetem Flachschieber am Niederdruck-Cylinder. Dieselben arbeiten mit 9 Atm. Anfangsspannung und Kondensation. Durch ein Wechselventil können sie zu jeder Zeit auf Auspuff umgestellt werden.

Der Dampfverbrauch beträgt 7·25 kg für die indicierte PS-Std, welcher bei Auspuff auf 12 kg ansteigt. Der auf den Expansionsschieber einwirkende Regulator ist ein durch Kegelräder angetriebener Hartmegscher Federregulator. Der Ungleichförmigkeitsgrad beträgt $^1/_{250}$. Die beiden grossen Dampfmaschinen sind stehende Dreifach-Expansionsdampfmaschinen, welche mit 12 Atm. Dampfdruck betrieben werden. Dieselben weisen einen Dampfverbrauch von 6·5 kg für die PS und Stunde auf. Unter jeder Maschine befinden sich die Einspritzkondensatoren und einfach wirkenden Nassluftpumpen, welche mittels Hebels von den Kreuzköpfen angetrieben werden.

Im Kesselhause sind Kessel von je 180 m^2 Heizfläche aufgestellt, bestehend aus einem Unter- und Oberkessel mit gesonderten Dampf- und Wasserräumen. Der Unterkessel besitzt zwei Flammrohre und rauchverzehrende Innenfeuerung, während der Oberkessel ein Siederohrkessel mit 100 Siederohren ist.

Ausser der Stromerzeugungsanlage enthält das Muffatwerk noch zwei Motorgeneratoren für 370 KW und zwei für 700 KW, sowie zwei im Keller untergebrachte Doppelbatterien von je 4536 Amp.-Std. Kapazität, zu denen sich noch eine Pufferbatterie für den Trambahnbetrieb gesellt.

Als Appendix an das Muffatwerk kann das Maximilianwerk aufgefasst werden, weil dasselbe seinen Strom an das Muffatwerk abgiebt. Dasselbe besitzt zwei Francis-Turbinen mit selbsttätigem Turbinenregulator. Dieselben treiben mittels Seile zwei Schuckertsche sechspolige Dynamos für 660 Volt und 235 Amp. bei 340 minutlichen Umdrehungen.

Für die Erweiterung der vorhandenen Anlage ist gegenwärtig eine neue Wasserkraft im Süden der Stadt im Bau, welche im Jahre 1907 in Betrieb gesetzt werden soll. Daselbst beabsichtigt man in zwei Triebswerken zusammen 7590 PS nutzbar zu machen. Auch im Norden der Stadt ist für später eine Wasserkraftanlage mit 3600 PS projektiert.

Über die Anschlusswerte sei noch bemerkt, dass am Ende des Jahres 1903 für die Strassenbeleuchtung 872 Bogenlampen in Betrieb waren. Für Private bezifferte sich der Anschlusswert auf 25 109 KW, während für Strassenbahnzwecke 532 Motoren mit 13 330 PS angeschlossen waren.

Von Interesse ist die elektrische Strassenbeleuchtung, da durch dieselbe die frühere Gasbeleuchtung in den Hauptstrassen so gut wie ganz verdrängt

ist. Die ursprünglich nach dem Dreileitersystem mit 2 × 300 Volt ausgeführte Bogenlichtbeleuchtung wurde später bei der grossen Ausdehnung als zu kompliziert befunden und daher zum Zweileitersystem mit 600 Volt Nutzspannung übergegangen. Dementsprechend sind die Lampenstromkreise in Gruppen von je zwölf hintereinander geschalteten Lampen angeordnet. Um die elektrische Beleuchtung um 12 Uhr nachts in einfachster Weise auf etwa die Hälfte reducieren zu können, sind der Regel nach zwei aufeinander folgende Bogenlampen verschiedenen Stromkreisen zugeteilt.

Vom Muffatwerk führen die Hauptspeisekabel zu den auf Strassen und Plätzen angeordneten Verteilungsschalttafeln, welche teilweise in eisernen Säulen untergebracht sind. Die eine der Sammelschienen ist in zwei Teile geteilt, der eine Teil nimmt die ganznächtigen und der andere Teil die halbnächtigen Stromkreise auf. Die Trennung wird vom Muffatwerk mit Hilfe eines Schaltapparates bewirkt, welcher in eine zur Centrale zurückführende Prüfdrahtleitung eingeschaltet ist und durch dessen Betätigung die halbnächtigen Lampen stromlos gemacht werden.

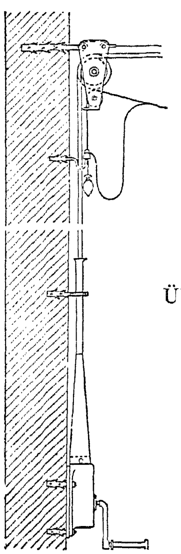
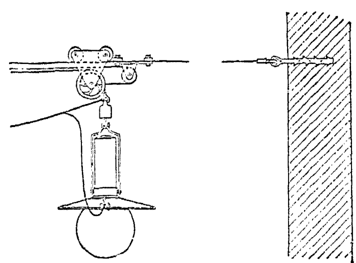



Fig. 40.
Überspannungsvorrichtung für Bogenlampen.

Die Lichtpunkthöhe beträgt durchschnittlich 10 m. Zur Aufhängung dienen teilweise Kandelaber, meistens jedoch sind die Lampen an Überspannvorrichtungen über Strassenmitte aufgehängt. Um die Lampen bedienen zu können, werden dieselben zuerst in horizontaler Richtung bis zum Bürgersteig bewegt und alsdann herabgelassen (Fig. 40). Um die Lampe mit derselben Winde unabhängig in beiden Richtungen bewegen zu können, enthält die Winde zwei Seiltrommeln, welche mit Sperrrädern von entgegengesetzter Verzahnung versehen sind. Das Doppelgesperre kann mit einem Steckschlüssel beliebig gestellt werden. Die eine Seiltrommel enthält das Seil für die Laufkatze und die andere das Aufzugseil der Bogenlampe. Werden beide Trommeln gleichzeitig gedreht, so erfolgt lediglich eine Verschiebung der Lampe in horizontaler Richtung. Wird nur die Trommel mit dem Aufzugseil gedreht, so bewegt sich die Lampe in vertikaler Richtung (Fig. 41).

19. Gersthofen. Bei Gersthofen, einem Orte am Lech, unterhalb von Augsburg, ist von der Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft vorm. W. Lahmeyer & Co. in den Jahren 1898—1901 eine Wasserkraftanlage für etwa 6000 PS gebaut worden (Fig. 42), die 1902 dem Betrieb übergeben wurde, und von der aus elektrische Energie in Form von Gleichstrom und hochgespanntem Drehstrom zur Verteilung gelangt.

Unterhalb der Wertach führt der Lech bei gewöhnlichem Niederwasserstande eine sekundliche Wassermenge von 50—60 cbm bei einem durchschnittlichen relativen Gefälle von 1:580. In strengen Wintern geht das Wasserquantum bis auf 350 cbm herab. Zur Entnahme des Betriebswassers wurde ein festes Stauwehr von 80 m freier Gesamtbreite mit einem 58 m

langen Überfallrücken, 8 m breiten Grund- und Kiesablass, $1^1/_2$ m breiten Fischpass und $12^1/_2$ m breiter Flossgasse eingebaut (Fig. 43). Direkt oberhalb des Wehrs ist am linken Flussufer das Einlaufbauwerk für den Kanal angeordnet und 80 m flussaufwärts eine 10 m weite Schleuse für die Einfahrt der Flösse in den Kanal angelegt, da zur Zeit des niedrigsten Flusswasserstandes die Flösse durch den Kanal geführt werden müssen. Zur Überführung der Flösse vom Ober- zum Unterkanal sind neben dem Maschinengebäude zwei hintereinander geschaltete Kammerschleusen von 8·6 m l. W. angeordnet, mit einer nutzbaren Länge von je 41 m.

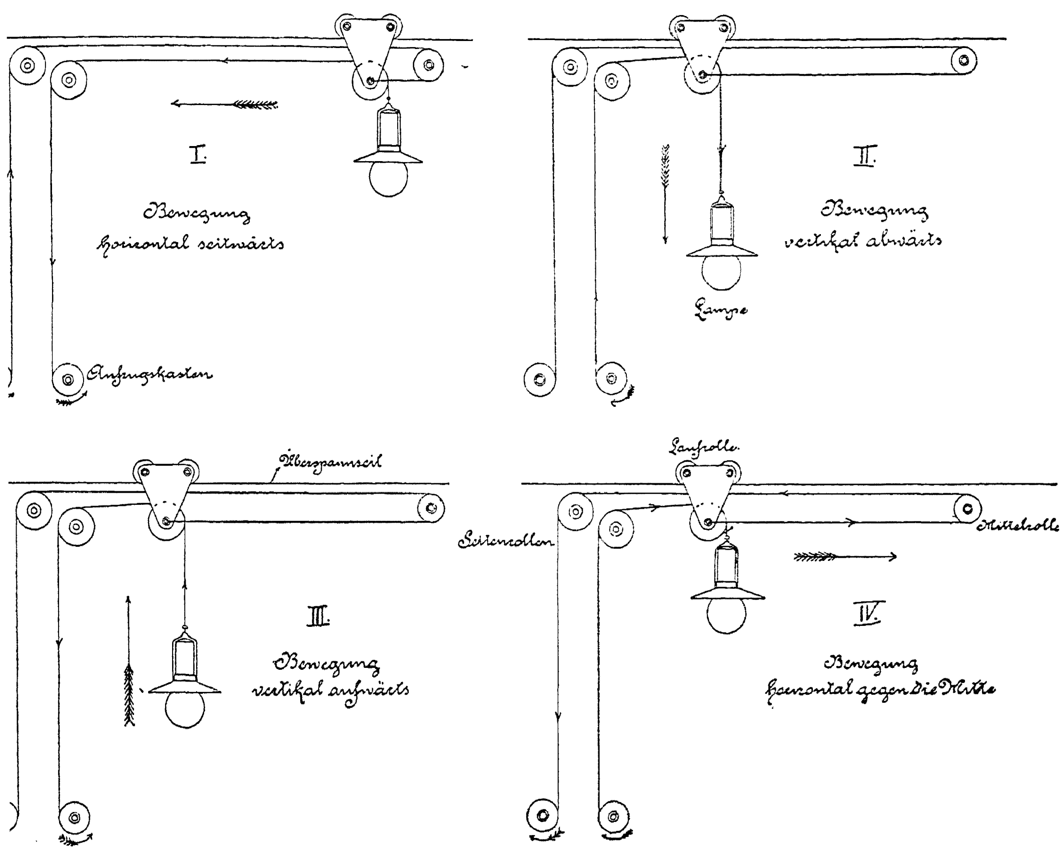


Fig. 41. Wirkungsweise der Bogenlampenwinde.

Das Wehr besitzt einen Vorboden und einen mit Dielenbelag abgedeckten Sturzboden aus Beton, welch letzterer flussaufwärts durch eine 7 m tiefreichende eiserne Wand abgeschlossen ist. Die Flossgasse ist an ihrem Einlauf abschliessbar, so dass das gesamte Wasser mit Ausnahme des durch den Fischpass gehenden, nach dem Kanal abgeleitet werden kann.

Der Triebwerkskanal verläuft auf seiner ganzen Länge parallel zum Lech in etwa 60 m Entfernung vom linksseitigen Flussufer.

Der Oberwasserkanal mit einem Sohlengefälle von 1:2500 besitzt von der Einlaufschleuse bis zur Kraftstation 3 km Länge und der Unterwasserkanal mit einem Sohlengefälle von 1:3333 bis zur Einmündung in den Lech

4·3 km. Um bei Niedrigwasser das im Lech während der geringen Belastung zufliessende Wasserquantum vollständig ausnutzen zu können, wird das überschüssige Wasser einem Ausgleichsweiher zugeführt, welcher ein Fassungsvermögen von 350000 cbm besitzt.

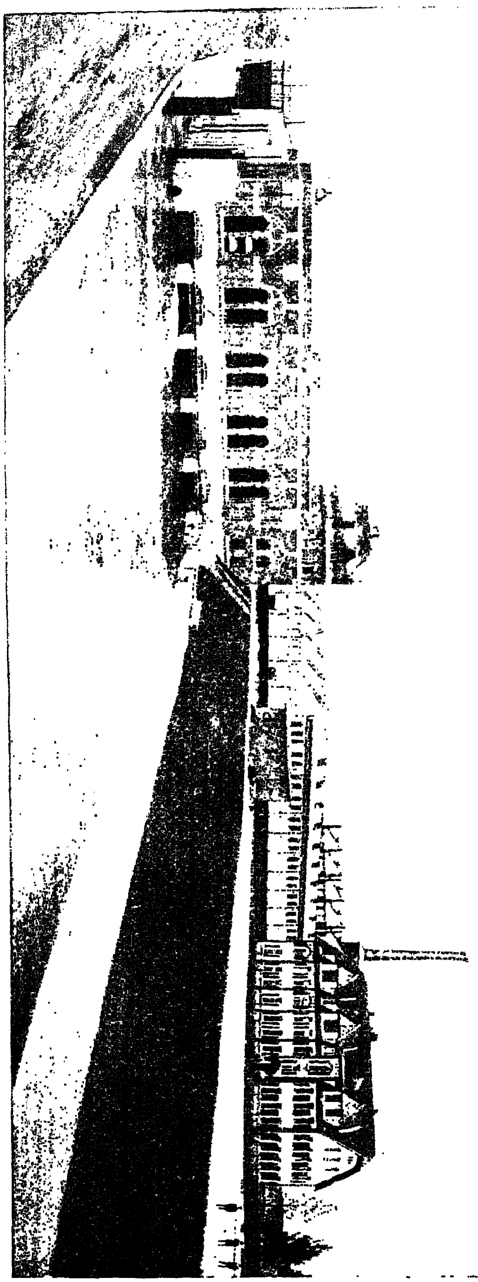


Fig. 42. Lech-Elektrizitätswerke.

Die Kraftstation, für welche eine Gefällshöhe von 10—10$^1/_2$ m gewonnen ist, ist für fünf Francis-Doppelturbinen von 1500 PS mit horizontaler Welle und direkt gekuppelten Dynamos angelegt. Die Turbinen befinden sich in getrennten Kammern nebeneinander. Von denselben ist der Dynamoraum durch eine 2·6 m starke Schildmauer getrennt.

Von den fünf Maschinen sind zwei für Gleichstrom und zwei für Drehstrom eingerichtet, während die fünfte, als Reserve dienende, sowohl eine Gleichstrom- als auch eine Drehstromdynamo enthält. Die Gleichstromdynamos, welche für elektrochemische Zwecke für die Höchster Farbwerke bestimmt sind, sind für eine Stromstärke von 4500 Amp. und 220 Volt gebaut und laufen mit Kohlenbürsten.

Die Drehstromdynamos besitzen ein rotierendes Magnetrad und erzeugen direkt 5000 Volt, welcher auf eine Gebrauchsspannung von 110 Volt herunter transformiert wird.

Die Schaltwand an der Längsseite des Maschinenhauses enthält die erforderlichen Apparate sowohl für Gleich- als auch für Drehstrom. Um an Leitungsmaterial zu sparen, sind die Gleichstromschalter von den Gleichstromdynamos in der Mitte der Schaltwand placiert. Die Drehstromschalthebel dagegen sind auf der oberen Galerie untergebracht und werden von unten aus mittels Holzgestänge betätigt. Sämtliche Messinstrumente für die Hochspannungsanlage arbeiten nur mit niedrig gespanntem Strom nach Anordnung des D. R.-P. 106157. Auf der Rückwand der Schalttafel sind die Regulierwiderstände und Sammelschienen untergebracht.

Die Hochspannungs-Schmelzsicherungen sind Ölsicherungen der Firma Lahmeyer & Co., bei denen nach erfolgtem Durchschmelzen des Drahtes die Enden rasch in Öl gezogen werden, wodurch der Lichtbogen erlischt.

Die ausgedehnten Freileitungs-Anlagen bedingten ferner die Einfügung von Überspannungs-Sicherungen. Die eine Fernleitung führt auf dem linken Lechufer nach Gersthofen, Oberhausen, Pfersee und Göppingen, während die andere Fernleitung auf dem rechten Ufer über Lechhausen nach Friedberg führt. Beide Leitungen werden durch das Kabelnetz der Stadt Augsburg geschlossen.

In Fig. 44 ist ein Leitungsmast mit der Hochspannungsleitung abgebildet, dessen unterer Teil als Transformatorenhaus ausgebildet ist, und welcher

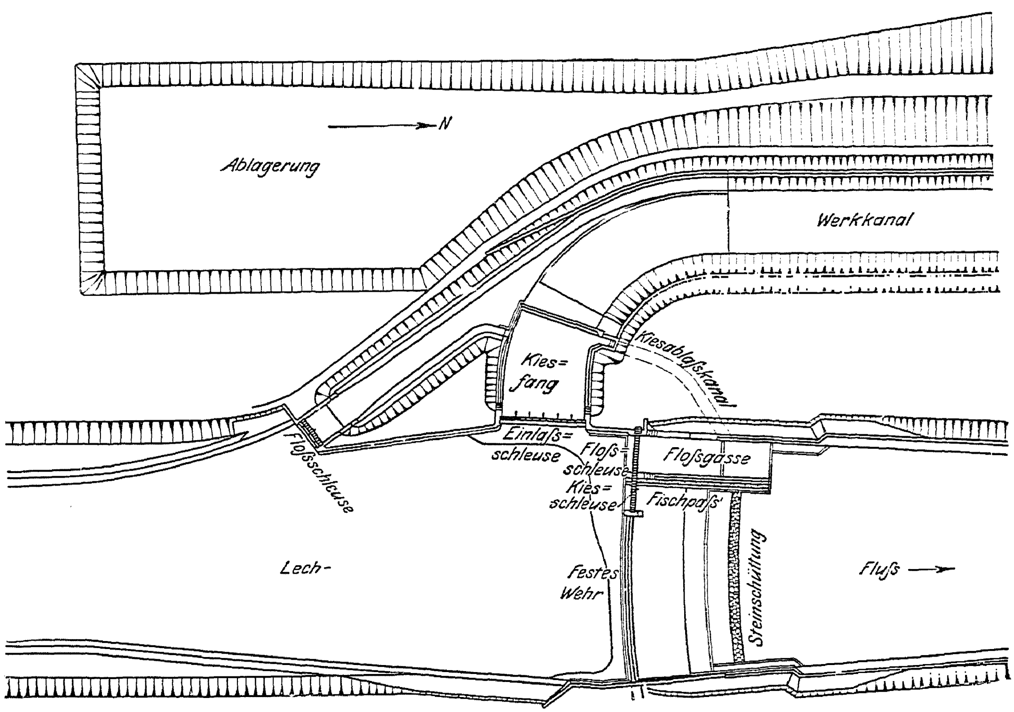


Fig. 43.

namentlich in den ländlichen Bezirken Verwendung gefunden hat. In Augsburg, woselbst die Leitungen unterirdisch verlegt sind, hat man den Transformator in einem geschlossenen eisernen Gehäuse unterirdisch angeordnet, dagegen die zugehörigen Schalt- und Sicherheitsapparate oberirdisch in einem bequem zugänglichen Schrank (Fig. 45).

Der Gleichstrom braucht demgegenüber nur auf wenige hundert Meter fortgeleitet zu werden, was durch Aluminiumschienen von 400 cm^2 Querschnitt erfolgt.

Der Tarif weist einen Grundpreis von 60 Pfg. pro KW Std für Licht und 20 Pfg. für Kraft auf. Alle Lichtkonsumenten mit mehr als 375 Betriebsstunden bezahlen für den überschiessenden Teil nur den Kraftpreis. Für die Kraftkonsumenten sind Rabatte eingeführt, deren Höhe von der Benutzungsdauer abhängen. Ausserdem sind in ausgedehntem Masse Pauschal-

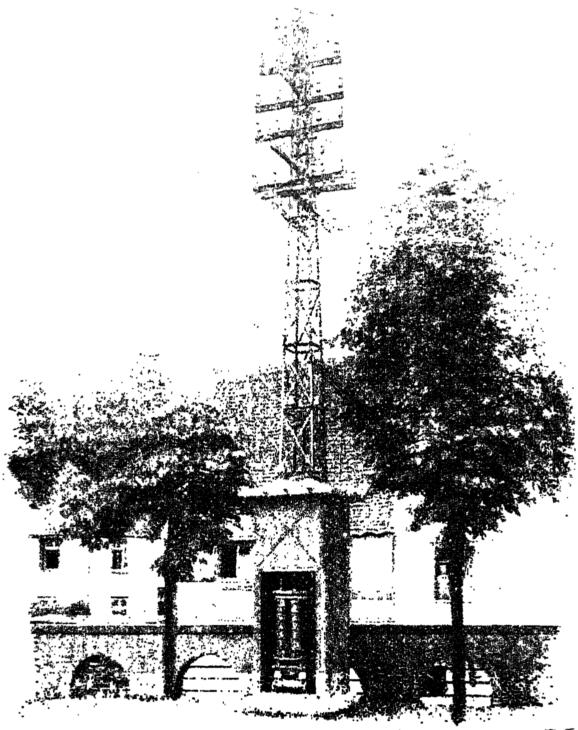


Fig. 44.

tarife zur Anwendung gelangt. Je nach der voraussichtlichen Benutzungsdauer wird für die 16-kerzige Glühlampe jährlich eine Gebühr von M. 18·— oder M. 24·— erhoben, auf welche Preise bei grossem Konsum noch Rabatte gewährt werden. Auch Kraftstrom wird gegen Pauschale abgegeben, und zwar je nach Grösse des Motors jährlich 230 bis 300·— M., für die Pferdekraft; bei ununterbrochenem 24stündigem Betrieb erhöhen sich diese Beträge auf M. 320·— und M. 420·—.

Da die Wasserkraftanlagen bekanntlich sehr hohe Anlagekosten bedingen, so möge im nachstehenden noch ein kurzer Überblick über den Kostenaufwand für die gesamten Tief- und Hochbauten gegeben werden.

Es treffen auf:

Wehr- und Einlaufbauwerk	M.	580 000·—
Turbinenanlage und Kammerschleusen	„	680 000·—
Triebwerkskanal und Erdarbeiten . .	„	1 400 000·—
Brücken und Stege	„	130 000·—
Anschlussbahn	„	140 000·—
Hochbauten	„	120 000·—
sonstige Bauten	„	200 000·—

Das sind insgesamt $3^1/_4$ Millionen Mark ohne Grunderwerb.

20. New York. Waterside Station.

Eines der grössten Unternehmen der Welt sind die zur Energieversorgung von New York von der New York Edison-Company errichteten Werke, deren wichtigste und grösste Centralstation die Waterside Station ist. Dem aufmerksamen Beobachter kann es nicht entgehen, dass bei der Projektierung der Anlage in erster Linie einmal die Gesichtspunkte zur Erreichung einer denkbar grössten Betriebssicherheit obgewaltet haben, und sodann durch Einführung mechanischer Hilfsmittel, wie mechanische Feuerungen, Kohlen- und Aschentransport-Einrichtungen u. s. w. sich möglichst unabhängig von den geschulten Arbeitern zu machen, was namentlich bei den ungünstigen Arbeiterverhältnissen in Amerika von ausserordentlicher Bedeutung ist, um die Gesellschaft vor unliebsamen Überraschungen durch Streiks u. dgl. zu bewahren.

Die Waterside Station, welche einen Flächenraum von 83 × 60 m einnimmt, liefert den hauptsächlichsten Anteil an dem benötigten Strom, sie wird nur zu Zeiten der höchsten Belastung im Winter noch von den Stationen in der Douanestr., der 12. und 26. Str. unterstützt.

Die Lage der Waterside Station zwischen 1. Avenue, der 38. und 39. Str. und dem East River ist eine äusserst günstige sowohl in bezug auf Kohlenzufuhr, als auch auf Wasserbeschaffung. Wie Fig. 46 erkennen lässt, befindet sich das in zwei Etagen übereinander angeordnete Kesselhaus unmittelbar neben dem Maschinenhause. Dasselbe enthält in jeder Etage zwei einander gegenüberliegende Reihen von je 14 Wasserrohrkesseln à 580 m² Heizfläche bei 13 Atm., so dass eine gesamte Heizfläche von 32 480 m² zur Verfügung steht. Die Kessel sind mit mechanisch bewegten Schrägrostfeuerungen ausgerüstet (Roney Stoker von Westinghouse Church Kerr & Co.) und werden mit Unterwind betrieben.

Die vier Schornsteine aus Stahlblech besitzen einen Durchmesser von 5 m und haben eine Höhe von 61 m vom Rost der unteren Kesselreihe gerechnet. Zum Schutz gegen die heissen Feuergase sind dieselben auf ein Drittel ihrer Höhe mit Chamottesteinen ausgekleidet, während der Rest nur gewöhnliches Futtermauerwerk enthält.

Die Herdrückstände gelangen durch Aschentrichter in kleine Wagen, mit deren Hilfe dieselben zum Quai geschafft und direkt in bereit stehende Kähne verladen werden.

Die am Quai errichtete Kohlenförderungsanlage ist ebenfalls gross angelegt. Die Kohle wird auf einer 46 m über die Quaimauer in den Fluss hineinragenden Mole in Empfang genommen. Auf derselben befindet sich der Uferkran, welcher mittels eines Kübels von $1^1/_2$ tons Fassungsvermögen die Kohlen in einen Trichter wirft, von dem dieselben nach Passieren eines Brechwerkes durch ein unterirdisch geführtes Becherwerk in die Centrale geschafft werden, um hier durch horizontale Transporteure schliesslich in die ganz oben im Kesselhause angeordneten Bunker von 10 000 tons Fassungsraum verteilt zu werden. Von den mit Beton ausgekleideten eisernen Bunkern führen Abfallrohre, und zwar für je zwei Kessel ein gemeinsames Rohr, die Kohlen direkt in die Trichter der automatischen Feuerungen. Zur Feststellung des verfeuerten Kohlenquantums ist jedes Abfallrohr mit einer Clark-Kohlenwage ausgerüstet.

Das Kesselspeisewasser wird durch grosse Dampfpumpen den Kesseln zugeführt. Der Abdampf dieser Pumpen, sowie aller anderen Hilfsdampfmaschinen wird in einem Wainwright-Vorwärmer von 124 m² Heizfläche nutzbar gemacht.



Fig. 45.

Das Maschinenhaus enthält 16 Dampfdynamos von je 5000—8000 PS, welche in zwei Reihen angeordnet sind. Die von der Westinghouse Machine Comp. gebauten Dampfmaschinen für 12 Atm. und 75 Touren pro Minute

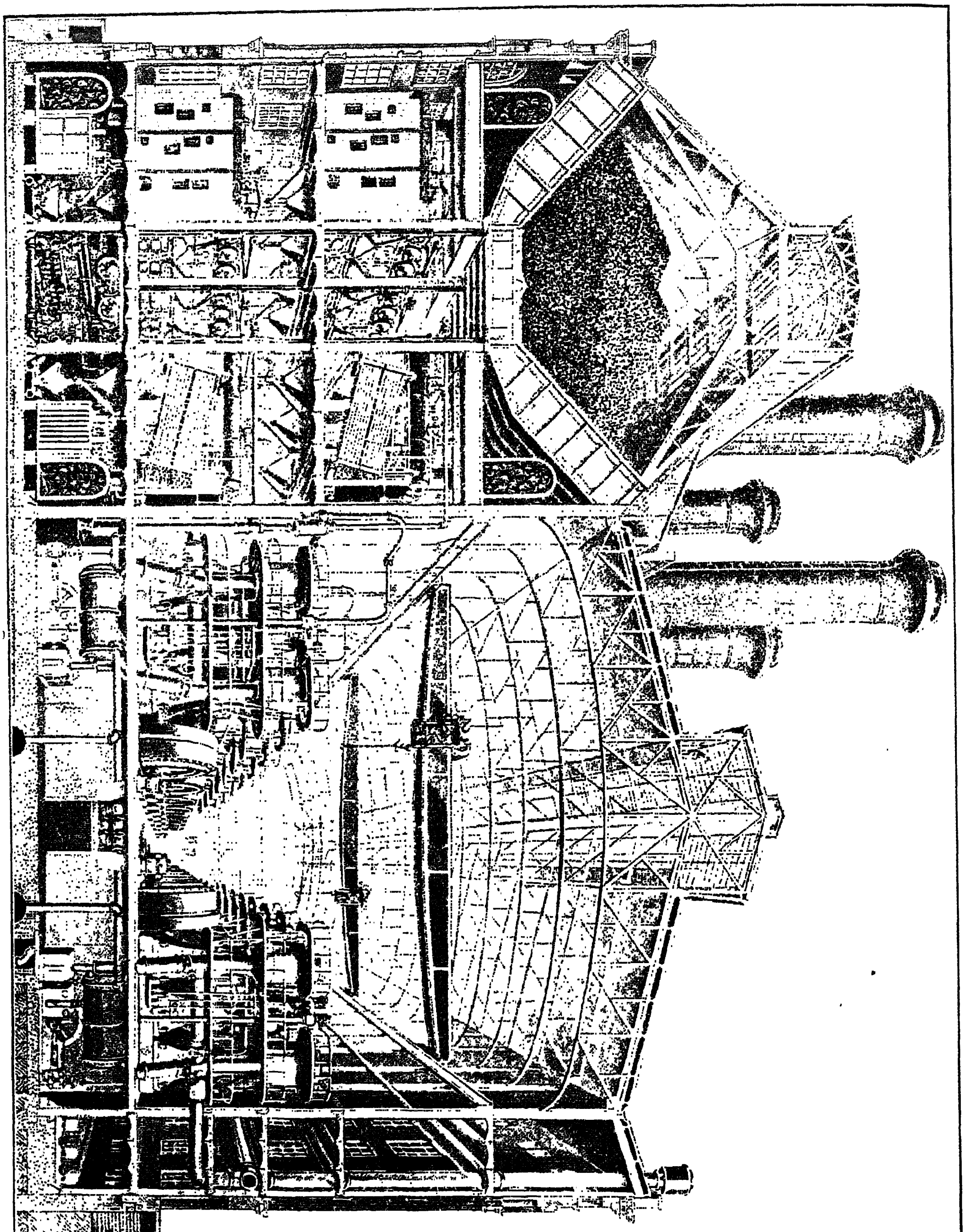


Fig. 46.

sind vertikale Doppel-Compoundmaschinen mit Kondensation und je einem Hoch- und zwei Niederdruckzylindern, welche 16 Drehstromgeneratoren der Gen. Electr. Comp. für 6600 Volt, 25 Perioden, 4500 KW direkt antreiben.

Der Hochdruckzylinder besitzt Schnappventile, während die Niederdruckzylinder mit doppelten Corliss-Ventilen ausgerüstet sind. Bevor der Dampf aus dem Hochdruckzylinder in den Niederdruckzylinder gelangt, hat derselbe einen Überhitzer zu durchströmen.

Die Oberflächen-Kondensatoren besitzen eine Kühlfläche von 855 m^2 und ist für jede Maschine eine unabhängige Luft- und Zirkulationspumpe vorhanden, die durch eine separate Dampfmaschine angetrieben werden.

Das Kondenswasser wird dem East River entnommen. Im Maschinenhause verzweigt sich das Kondenswasserrohr in zwei unter den beiden Maschinenreihen entlang laufende Teile. Die Abführung des Kondensationswassers erfolgt durch zwei ovale, 2·4 m hohe, über den Saugrohren gelegene Kanäle.

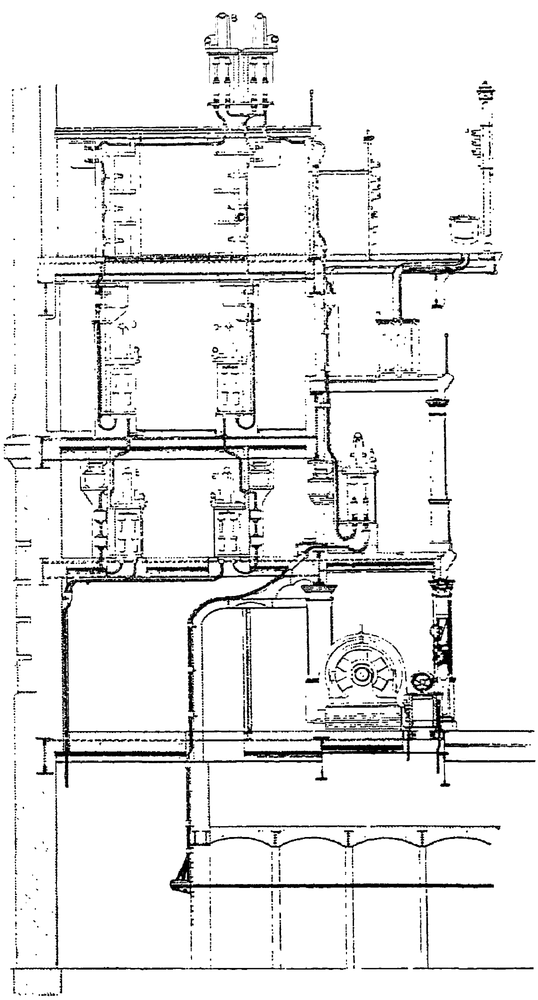


Fig. 47.

Die Generatoren sind derartig dimensioniert, dass sie bei Dauerbelastung von 150 Amp. pro Phase sich nur um 30 ° C. über Maschinenhaustemperatur erwärmen. Eine Steigerung der induktionsfreien Belastung auf 400 Amp. pro Phase verursacht eine Temperaturzunahme nach dreistündigem Betrieb von nur 50 ° C.

Grosser Wert wurde auf vorzügliche Isolation gelegt. Die Isolationsprüfung der Wicklung wurde mit 15 000 Volt Wechselstrom während 30 Minuten vorgenommen, und danach eine Steigerung der Prüfspannung auf 25 000 Volt während einer Minute bewirkt.

Die Erregung erfolgt durch drei Motorgeneratoren von je 150 KW bei 220 Volt, die parallel zu einer Pufferbatterie geschaltet sind, welch letztere den gesamten Erregerstrom während einer Stunde zu liefern vermag.

Das Typische der umfangreichen Schaltanlage, welche für die meisten grossen amerikanischen Hochspannungscentralen vorbildlich gewesen ist, besteht erstens in der Anwendung des Fernschaltesystems, bei dem die eigentlichen Schalter durch kleine, von der Kommandostelle aus betätigte Motoren in Bewegung gesetzt werden, ferner in dem Ersatz von Schmelzsicherungen durch automatische, vermittels Zeitrelais auslösbare Maximalschalter, sodann in dem doppelten Satz von Hochspannungs-Sammelschienen, auf welche sowohl die Generatoren als auch die Speisekabel nach Belieben geschaltet werden können, und schliesslich in der weitgehendsten Trennung aller Leiterteile

mit erheblicher Spannungsdifferenz durch feuersichere Schutzwände, wie dieses z. B. die Fig. 49 für die Anordnung der Messtransformatoren erkennen lässt.

Wie aus Fig. 47 zu ersehen ist, sind die verschiedenen Schalter in vier Etagen übereinander angeordnet. Die Kommandostelle, von der aus das

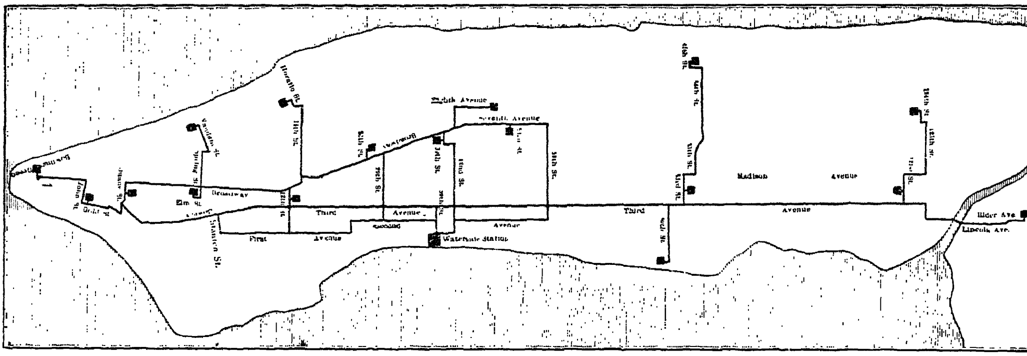


Fig. 48.

Ein- und Ausschalten bewirkt wird, befindet sich in der dritten Etage. Der Strom des einzelnen Generators passiert zunächst den Hauptölschalter *A* auf der ersten Etage, geht dann zum Umschalter *B* im obersten Stockwerk, und je nach der Stellung desselben zu dem einen oder anderen darunter befind-

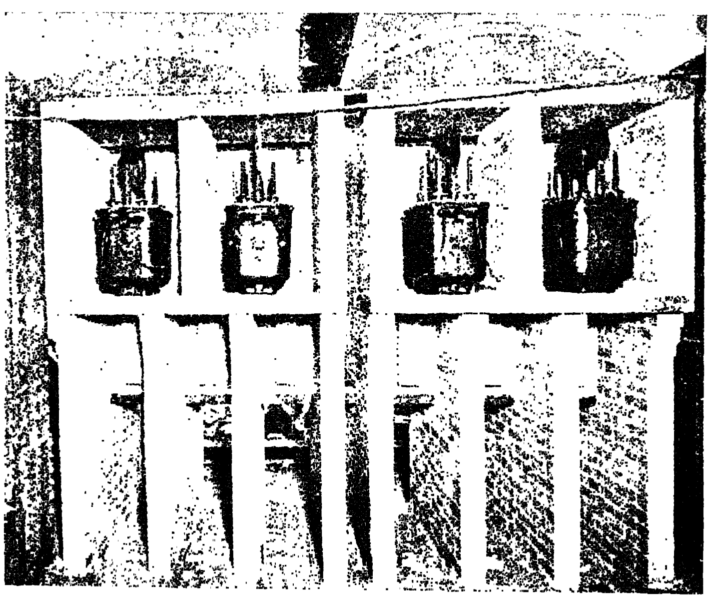


Fig. 49.

lichen Satz ebenfalls durch feuersichere Wände getrennter Sammelschienen. Von den Sammelschienen fliesst der Strom wieder durch zwei hintereinander geschaltete Ölschalter *D* und *E*, von denen der eine automatische Auslösung besitzt, durch die Speisekabel den Unterstationen zu.

Um an der Kommandostelle erkennen zu können, ob der einzelne Schalter ein- oder ausgeschaltet ist, sind farbige Lampen angebracht, welche je nach der Stellung des Schalters leuchten.

Damit bewirkt wird, dass beim Auftreten irgend eines Kurzschlusses nicht sämtliche, in Serie geschaltete Maximalschalter in Funktion treten, sind die Zeitrelais am Endpunkt der Kabel in den Unterstationen auf Momentanschaltung eingestellt, an den Abzweigstellen auf zwei Sekunden, und in der Waterside Station auf vier Sekunden Dauer.

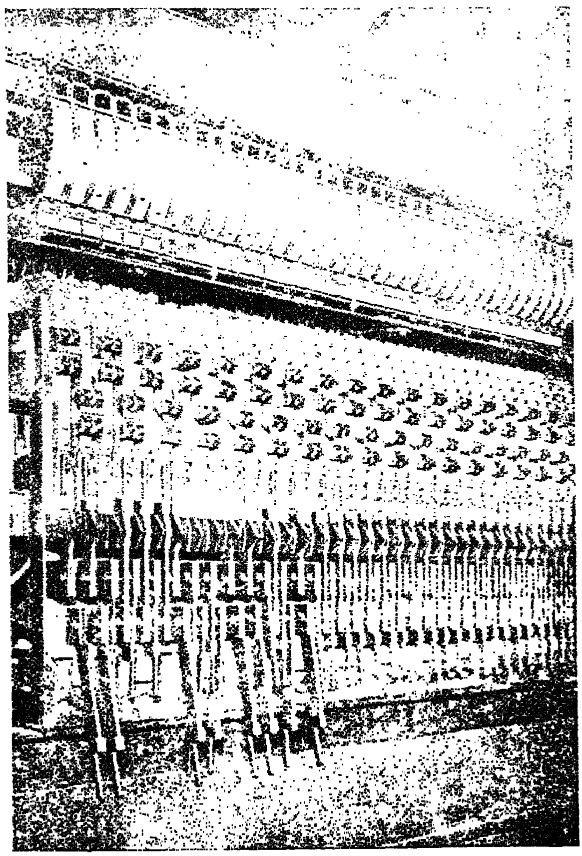


Fig. 50.

Die Hochspannungskabel, welche lediglich zur Stromübertragung nach den Unterstationen dienen, bilden ein weitverzweigtes Netz, wie Fig. 48 erkennen lässt. Dieselben sind ebenso wie alle unterirdischen Kabelleitungen von New York in Kanäle eingezogen, welche der Consolidated Telegraph and Electrical Subway Comp. gehören. Die gesamten Hochspannungskabel repräsentieren allein eine Länge von 110 km, während die unterirdischen Kanäle etwa 1600 km Länge besitzen. Diese Kanäle bestehen entweder aus in Beton eingebetteten eisernen Rohren, oder wie es neuerdings bevorzugt wird, aus glasierten Tonformstücken, welche ebenfalls durch Beton zusammengehalten werden. Diese Kanäle münden an jeder Strassenkreuzung sowie in Zwischenräumen von 75 m in Einsteigschächte, um das Einziehen und Ver-

binden der Kabel leicht zu ermöglichen. Die Verbindung der Kabel untereinander erfolgt durchweg vermittels Lötung. Die Kabel selbst sind Bleikabel mit Papierisolation, jedoch ohne Armierung. Dieselben werden mit einer Prüfspannung von 15 000 Volt geprüft und weisen fertig verlegt einen Isolationswiderstand von 300 Megohm pro km auf.

Den Konsumenten wird durch ein Dreileiternetz Gleichstrom von 110 Volt zugeführt, welcher in einer grösseren Anzahl Unterstationen durch Umformung von 6600 voltigem Drehstrom mit 25 Perioden gewonnen wird.

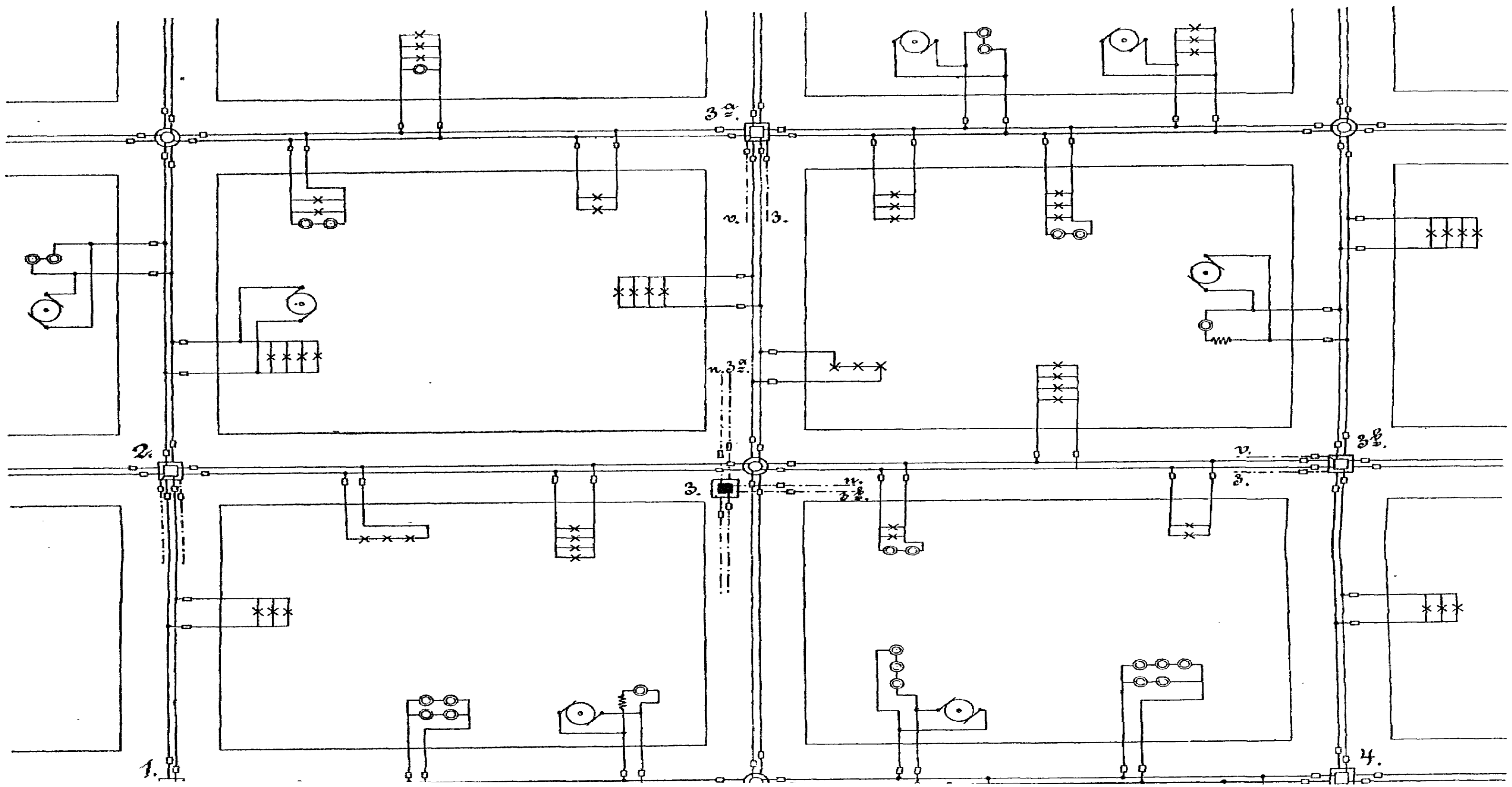
An Unterstationen sind auf Manhattan Island 16 Stück in Betrieb. Der von den Unterstationen gelieferte Gleichstrom von 110 Volt fliesst einem über das ganze Stadtgebiet verteilten, zusammenhängenden Niederspannungsnetze zu. Nur nördlich des Harlem River wird der Borough of the Bronx mit zweiphasigem Wechselstrom versorgt.

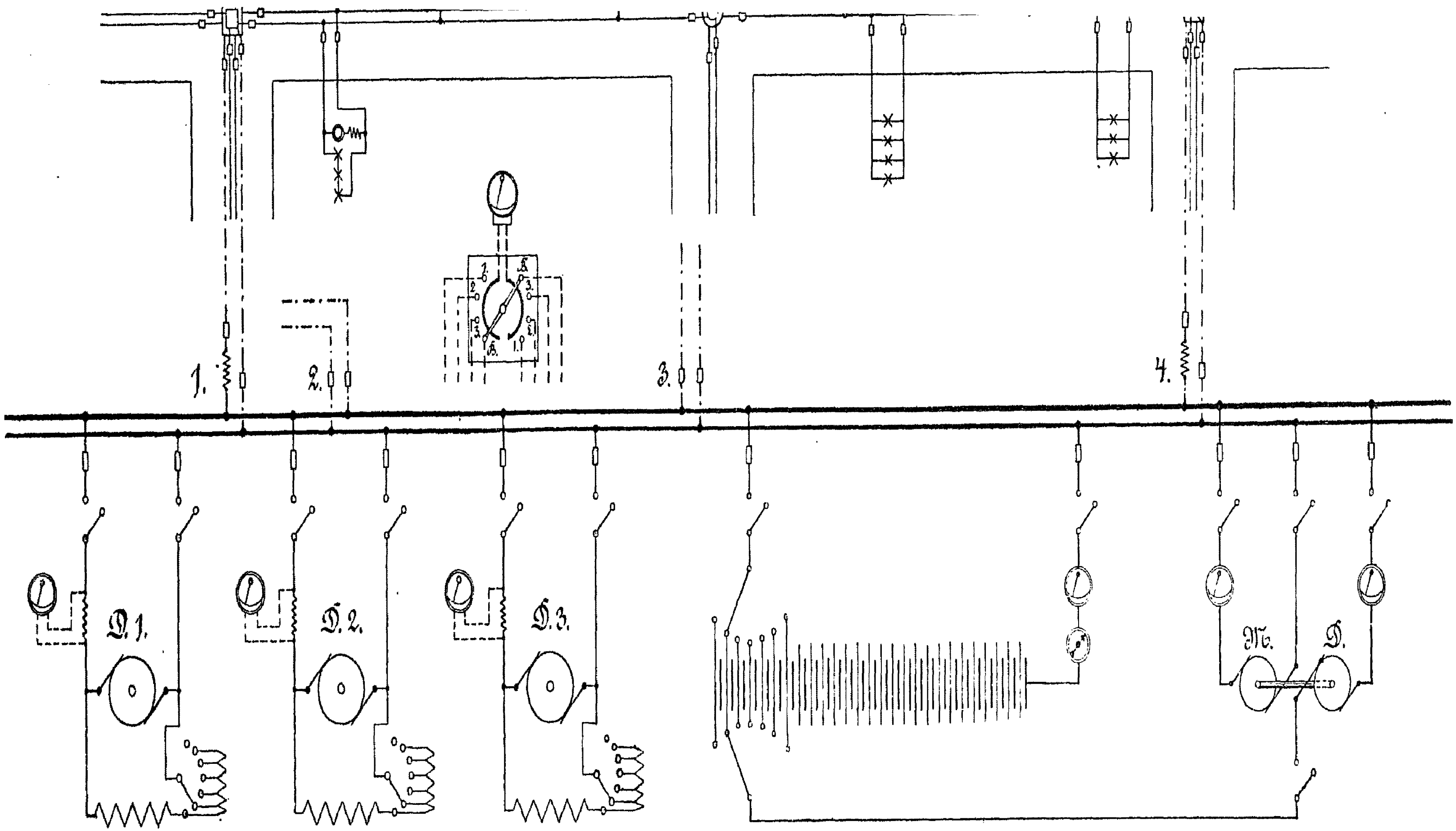
Damit die Gleichstrom-Speisekabel besser ausgenutzt werden können, arbeiten die Stationen während der maximalen Belastung mit drei verschiedenen Sammelschienenspannungen, und ist jedes einzelne Kabel durch Umschalter umschaltbar gemacht. Eine derartige Kabelschalttafel mit den zugehörigen Messinstrumenten zeigt Fig. 50. Herrscht in irgend einem Bezirk eine zu geringe Spannung, so wird das betreffende Speisekabel zunächst ausgeschaltet und mit Hilfe des Umschalters auf die Sammelschiene mit der nächst höheren Spannung geschaltet.

Die in den Unterstationen befindlichen Umformer sind in Grössen von 500 und 1000 KW zur Aufstellung gelangt. Die zugehörigen Transformatoren mit künstlicher Luftkühlung sind ausschliesslich Einphasentransformatoren. Zur Spannungsregulierung werden Potentialregulatoren der General Electric Comp. benutzt, welche eine Variation der Gleichstromspannung von 240—360 Volt zulassen.

Schaltungsschema:

Zweileiter-System.





1.
2.
3.
4.
D. 1.
D. 2.
D. 3.
M.
D.

Zweiter Abschnitt.

Die Stromverteilungssysteme.[1])

Ganz allgemein soll jedes Stromverteilungssystem den Stromabnehmern die Möglichkeit bieten, zu beliebiger Zeit und beliebig lange, sowie in beliebigem Umfange die vorhandenen Stromverbrauchsapparate in Benutzung zu nehmen, also eine vollkommene Unabhängigkeit der Anschlüsse untereinander gewährleisten. **21.** Allgemeines.

Ausser diesen, die Interessen der Stromabnehmer enthaltenden Bedingungen, soll das Stromverteilungssystem aber auch die Erfüllung dieser Bedingungen mit einem Minimum an Kosten ermöglichen, worunter Amortisation und Verzinsung des Anlagekapitals, sowie die Stromverluste fallen. Schliesslich ist auch der Forderung der grösstmöglichen Betriebssicherheit hinreichende Beachtung zu schenken.

Da die Erfüllung dieser Bedingungen auf sehr verschiedene Weise möglich ist, so haben sich mit der Entwickelung der Elektrotechnik auch verschiedene Systeme für die Verteilung der elektrischen Energie herausgebildet, deren wesentlichste Eigenschaften im nachstehenden einer kurzen Besprechung unterzogen werden sollen, während die detaillierten Angaben dem Hdb. V zu entnehmen sind.

Das Charakteristische des Zweileitersystems (Tfl. VIII) besteht darin, dass sämtliche Stromverbrauchsapparate zu einander parallel geschaltet sind und nur aus zwei Leitungen mit einheitlicher Spannungsdifferenz, von denen die eine zum positiven Pol und die andere zum negativen Pol der Stromquelle zurückführt, die benötigte elektrische Energie entnommen wird. **22.** Gleichstrom-Zweileitersystem.

Da beim Parallelschaltungssystem die Spannung an jeder Konsumstelle konstant zu erhalten ist, damit die Stromverbrauchsapparate in beabsichtigter Weise zur Wirkung kommen, so sind die Spannungsverluste in den Zuleitungen auf ein geringes Mass zu beschränken oder es ist für entsprechende Ausgleichung der Spannungsverluste zu sorgen.

Die Stromverteilung erfolgt in der Weise, dass die einzelnen Konsumstellen an Doppelleitungen angeschlossen werden, welche ein Netz von Leitungen, die sogenannten Verteilungsleitungen, bilden. Nach verschiedenen Punkten dieses Netzes, da wo sich die Konsumschwerpunkte ergeben, werden

1) Vgl. Hdb. V.

von der Centrale Hauptleitungen, die sogenannten Speiseleitungen, geführt. Die Querschnitte der Verteilungsleitungen sind nun so stark zu wählen, dass der maximal auftretende Stromkonsum an keiner Stelle des Netzes einen höheren Spannungsverlust als höchstens $1^1/_2$—2 $^0/_0$ verursacht, wobei die Annahme zu machen ist, dass einmal die Spannung an den Speisepunkten konstant erhalten wird und andererseits, dass sämtliche Speiseleitungen in entsprechendem Masse an der Stromlieferung teilnehmen.

Bei einem geschlossenen Netze kann demnach jede Konsumstelle von zwei Seiten ihren Strom empfangen. Die Grösse des Anteils jeder Seite an der Stromzuführung wird bestimmt durch die Belastungsverhältnisse des Netzes. Sofern der Strom nach einer Konsumstelle von zwei Seiten hinfliesst, ist stets der Spannungsverlust von der Stromquelle in der Centrale bis zur Konsumstelle nach beiden Seiten des Anschlusses hin einander genau gleich.

Um an Leitungskosten zu sparen, ist es üblich, in den Speiseleitungen einen höheren Spannungsverlust, und zwar 10 bis höchstens 20 $^0/_0$, zuzulassen. Die Konstanthaltung der Spannung an den Speisepunkten erfolgt alsdann durch entsprechende Erhöhung der Spannung der Stromquelle, d. i. an den Sammelschienen der Centrale. Hierbei geht man von der Annahme aus, dass die Belastungsverhältnisse im gesamten Netz sich nahezu gleichmässig ändern, und die geringen Unterschiede durch einen zulässigen Ausgleichsstrom in den Verteilungsleitungen kompensiert werden.

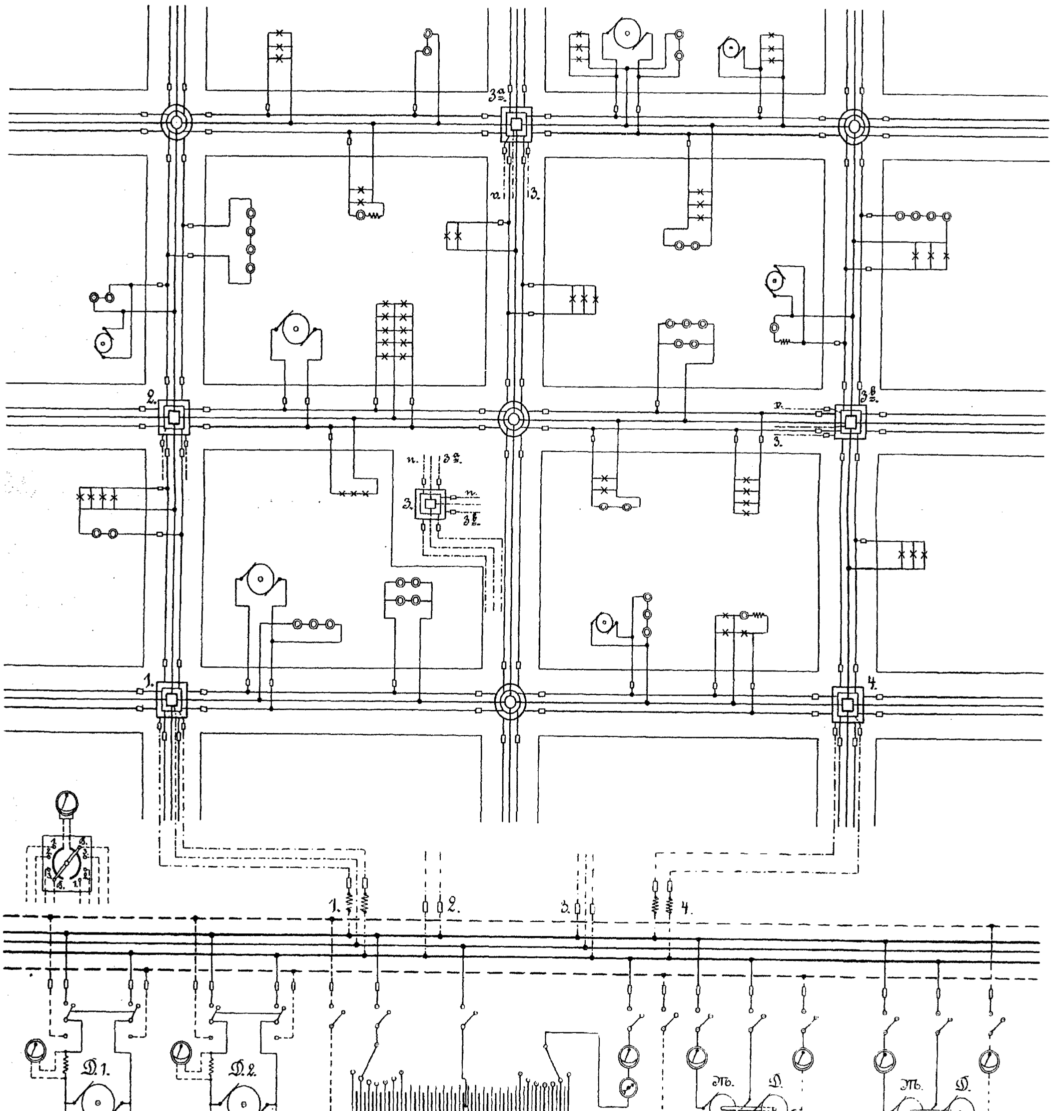
Da, wo diese Voraussetzungen nicht zutreffen, was übrigens bei einem nicht gar zu knapp dimensionierten Verteilungsnetz nur ausnahmsweise der Fall ist, muss durch besondere Vorrichtungen der Spannungsverlust in den abnorm beanspruchten Leitungen ausgeglichen werden. Hierzu bieten sich zwei Wege. Der eine besteht darin, die Speiseleitung so stark zu dimensionieren, dass dieselbe bei der abnormen Beanspruchung nur den gleichen Spannungsverlust aufweist, wie die übrigen Speiseleitungen, und zu Zeiten normaler Beanspruchung durch Einschaltung eines entsprechenden Ausgleichswiderstandes eine fehlerhafte Spannungsverschiebung im Netz zu verhindern, was allerdings mit erheblichen Kosten verknüpft ist. Der andere Weg, welcher der am meisten beschrittene ist und im allgemeinen auch der rationellere sein wird, besteht darin, in diese aussergewöhnlich stark beanspruchte Speiseleitung eine regulierbare Zusatzspannung einzuschalten, sei es durch eine entsprechende Anzahl Akkumulatorenzellen oder durch Zusatzdynamos.

Damit in der Centrale die Netzspannung an jedem Speisepunkte konstant erhalten werden kann, ist es erforderlich, eine Messeinrichtung für dieselbe zu schaffen. Hierzu dienen besondere Prüfdrahtleitungen, welche bei Kabeln zweckmässig in die Hauptleitungen mit eingesponnen werden. Die Enden dieser Prüfdrähte werden, um nicht für jeden Speisepunkt ein besonderes Voltmeter zu benötigen, an kleine Umschalter gelegt, mit deren Hilfe es möglich ist, sowohl jeden Wert der Einzelspannungen an einem Spannungszeiger abzulesen, als auch durch Parallelschaltung sämtlicher Prüfdrähte den Mittelwert aller Einzelspannungen zu bestimmen.

Aus dem Vorstehenden ist unschwer zu entnehmen, dass es eigentlich technisch keine Grenze für das Anwendungsgebiet des Zweileitersystems giebt, denn es ist ja nur bei grösseren Entfernungen erforderlich, entsprechend stärkere Leitungen zu verlegen. Da jedoch das erforderliche Kupfergewicht der Speiseleitungen für dieselbe Gebrauchsspannung bei gleichem Verlust und gleicher zu übertragender Energie im quadratischen Verhältnis mit der Ent-

Schaltungsschema:

Dreileiter-System.



Verlag von S. Hirzel in Lei[p]

fernung wächst, so kommt man sehr bald an eine Grenze, bei der die Unkosten in einem grossen Missverhältnis zu den Stromeinnahmen stehen werden. Wegen der Vielseitigkeit der einzelnen Faktoren lässt sich natürlich eine allgemein gültige Zahl für die Entfernung, bis zu welcher das Zweileitersystem noch anwendbar ist, nicht geben, doch rechnet man gewöhnlich eine Entfernung von etwa 800 m als Grenze[1]) für eine Gebrauchsspannung von 110 Volt. Ein anderer Ausweg, durch Erhöhung der Gebrauchsspannung die Stromstärke und damit den erforderlichen Kupferquerschnitt zu reduzieren, ist nur in beschränktem Masse begehbar, weil einmal die Lampen nicht für hohe Spannung herstellbar sind — hier hat sich als Grenze die Spannung von etwa 250 Volt ergeben —, und weil andererseits die Einführung hoher Spannungen in bewohnte Räume Gefahren für Leben und Gesundheit der Menschen mit sich bringt.

23. Gleichstrom-Dreileitersystem.

Einen sehr grossen Fortschritt stellt das Dreileitersystem (Tfl. IX) dar[2]), weil dasselbe die Anwendung der doppelten Gebrauchsspannung für die Aussenleiter, wie beim Zweileitersystem, gestattet. Man kann sich dasselbe gebildet denken durch die Aneinanderfügung zweier Zweileitersysteme derartig, dass eine Hintereinanderschaltung der Stromquellen resultiert. Da, wo die beiden Pole der Stromquellen direkt miteinander verbunden sind, fallen die beiden Leitungen zu einer einzigen gemeinsamen zusammen.

Betrachten wir das Spannungsgefälle dieser Netzkombination, so ergiebt sich, dass dasselbe von dem positiven Pol der einen Stromquelle bis zum negativen der anderen Stromquelle verläuft. Es wird der Strom, welcher aus den in beide Netzhälften eingeschalteten Stromverbrauchsapparaten resultiert, nicht in seiner Summe den Mittelleiter durchfliessen, sondern nur mit dem einfachen Betrage, bezw. dem Unterschiede, denn der ganze Strom der einen Netzhälfte wird den Mittelleiter nur so weit durchfliessen, bis er durch eingeschaltete Stromverbrauchsapparate der anderen Netzhälfte seine Ableitung zum anderen Aussenleiter findet. Die gesamte Länge des Mittelleiters von der Konsumstelle bis zurück zur Stromquelle wird dagegen lediglich von der Differenz der Ströme beider Netzhälften durchflossen.

Aus diesem Grunde ist es zulässig, den Querschnitt des Mittelleiters wesentlich zu reduzieren. Auf keinen Fall braucht derselbe grösser als derjenige der Aussenleiter zu sein; meistens begnügt man sich dagegen in der Praxis damit, dem Mittelleiter den halben Querschnitt desjenigen der Aussenleiter zu geben, was um so weniger bedenklich erscheint, da das Potential dieses Leiters gegen Erde normalerweise gleich Null ist und Rücksichten auf Erhaltung guter Isolation gänzlich fortfallen. Vielfach wird der Mittelleiter aus diesem Grunde sogar ohne jede Isolation blank in die Erde gelegt.

Wird das Gleichstrom-Dreileitersystem mit einer Spannung von mehr als 2 $\times$ 125 Volt betrieben, so sind besondere Vorkehrungen zu treffen, welche verhindern, dass die effektive Spannung zwischen irgend einer Leitung und Erde, selbst im Falle eines Erdschlusses, nicht mehr als 250 Volt betragen kann, da sonst die ganze Anlage nach den Sicherheitsvorschriften für Hochspannungsanlagen einzurichten wäre. Dieser Bedingung wird am sichersten Genüge getan, wenn der Mittelleiter an möglichst vielen Stellen gut leitend mit Erde verbunden wird. Die mit dem Dreileitersystem wirt-

1) Siehe UPPENBORN, Kalender für Elektrotechniker.
2) Vgl. S. 18.

schaftlich noch zu überwindende Entfernung ist wegen der Verwendung der doppelten Spannung doppelt so gross als beim Zweileitersystem, jedoch reduziert sich dieselbe wegen des Mehraufwandes an Kupfer für den Mittelleiter wieder um ein geringes, so dass man im allgemeinen mit diesem System noch ein Gebiet mit einem Radius von 1300 m unter Anwendung einer Gebrauchsspannung von 110 Volt rationell wird betreiben können.

24. Gleichstrom-Fünfleitersystem.

In derselben Weise wie man durch Aneinanderfügung zweier Zweileitersysteme auf das Dreileitersystem gekommen ist, lassen sich durch weitere Kombinationen beliebige Mehrleitersysteme schaffen. Von diesen hat das Fünfleitersystem (Tfl. X) an einigen Stellen, so in Königsberg, Anwendung gefunden. Diese Systeme sind jedoch infolge der erheblichen Komplikationen zum mindesten unratsam, einmal wegen der vielen Leitungen und sodann wegen der Schwierigkeiten eines guten Ausgleiches der Einzelspannungen bezw. einer befriedigenden gleichmässigen Verteilung der Belastung auf die einzelnen Leitergruppen. Da ausserdem die noch wirtschaftlich mit dem Fünfleitersystem zu überwindende Entfernung unter Anwendung einer Gebrauchsspannung von 110 Volt nur auf etwa 2000 m anwächst, diese aber bei weitem nicht für alle vorkommenden Fälle, für welche die elektrische Energieübertragung in Frage kommt, ausreichend ist, so war es eine gebieterische Notwendigkeit, Mittel und Wege zu finden, um auf anderem Wege die Anwendung hoher Spannungen zu ermöglichen.

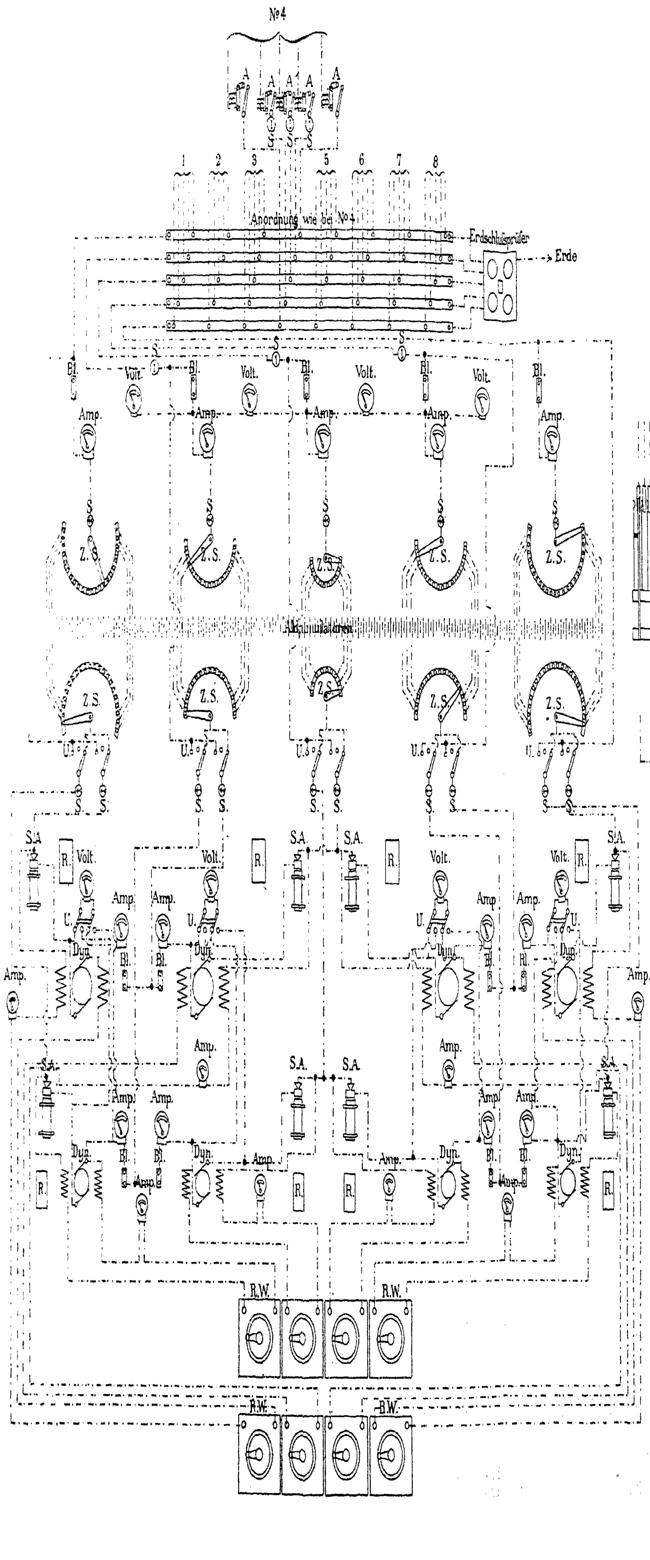
25. Reihenschaltung System Bernstein.

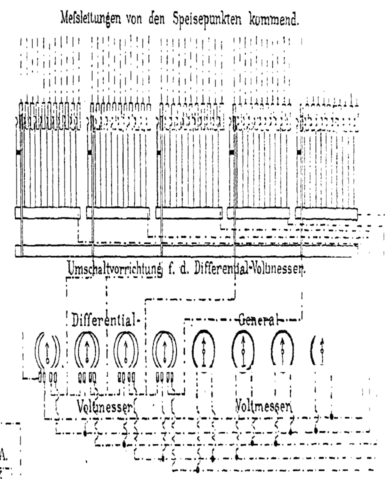
Der Versuch, das bei der Bogenlichtbeleuchtung erprobte System der Serienschaltung auf die Glühlichtbeleuchtung dadurch zu übertragen, dass Stromkreise vieler hintereinander geschalteter Glühlampen, die bei verschiedenen Privatkonsumenten verteilt waren, gebildet wurden, und wie solches in Amerika von Bernstein eingeführt war,[1]) muss als gänzlich verfehlt bezeichnet werden und besitzt heute nur lediglich noch historisches Interesse.

Bei diesem System wird die Klemmenspannung der mit konstanter Stromstärke arbeitenden Dynamo entsprechend der jeweilig brennenden Lampenzahl variiert. Die maximale Spannung betrug etwa 2000 Volt Gleichstrom, während jede Lampe (Fig. 51 u. 52) im Durchschnitt für 7 Volt und 10 Amp. eingerichtet war, so dass sich in einem Stromkreise ungefähr 300 hintereinander geschaltete Glühlampen befanden. Für jeden Stromkreis war eine besondere Dynamo vorhanden, so dass demnach bei einer nach diesem System arbeitenden Centralstation für 6000 installierte Lampen 20 Dynamos in dauerndem Betrieb zu erhalten sein würden, welche zu Zeiten geringen Lichtkonsums sämtlich wegen der ungenügenden Belastung mit sehr schlechtem Wirkungsgrade arbeiten würden, wenn man nicht weitere Komplikationen durch Serienschaltung verschiedener Stromkreise einführen will. Das Ausschalten der einzelnen Lampe wird in einfacher Weise durch Kurzschliessen derselben bewirkt. Um jedoch zu verhindern, dass beim Versagen einer einzigen Lampe der ganze Stromkreis zum Verlöschen kommt, muss eine jede Lampe noch mit einer automatisch wirkenden Kurzschlussvorrichtung [2]) ausgerüstet sein. In bezug auf die Sicherheit von Personen ist es erforderlich, die gesamte Installation wegen des Eintritts der hohen Spannung in die Beleuchtungskörper auf das vorzüglichste gegen Erde zu isolieren.

1) Vgl. Journal of the Society of Telegraph Engineers and Electricians No. 61, Bd. XV.
2) Vgl. ETZ 1888, S. 6.

SCHEMA DER SCHALTANLAGE
DES
STÄDTISCHEN ELEKTRICITÄTSWERKES
ZU
KÖNIGSBERG i. Pr.





Dyn. — Dynamomaschine.
Z. S. — Zellenschalter.
S. A. — Selbstthätiger Ausschalter.
A. — Ausschalter.
R. — Relais.
Amp. — Ampèremesser.
Volt. — Voltmesser.
R. W. — Regulirwiderstand.
Bl. — Bleisicherung.
U. — Umschalter.
S. — Stromrichtungsanzeiger.

GEBRUEDER NAGLO
BERLIN SO.

Verlag von S. Hirzel in Leipzig.

Aus vorstehendem ist unschwer der Schluss zu folgern, dass sich ein solches System für Privatbeleuchtung und noch vielmehr für Motorenbetrieb gänzlich verbietet und eigentlich nur für die Beleuchtung von Strassen, Bahnhöfen, Tunnels u. s. w., wo es sich nur um einen oder wenige Stromkreise handelt, in Frage kommen kann. Dass ein solches ungemein kompliziertes und unvollkommenes System überhaupt zur praktischen Anwendung gelangen konnte, liegt in erster Linie einmal in der Überlegenheit des Nutzeffektes der verwendeten niedrigvoltigen Glühlampen um etwa 30 % gegenüber den damaligen Glühlampen für 110 Volt, sodann aber auch an den bedeutenden Ersparnissen, welche für die gegebenen Verhältnisse an Leitungsmaterial im Vergleich zur Glühlichtbeleuchtung in Parallelschaltung gemacht werden konnten.

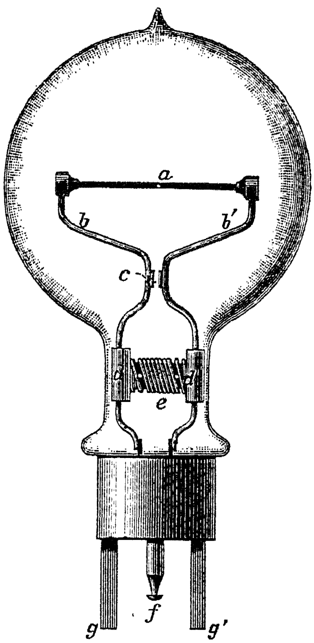


Fig. 51.

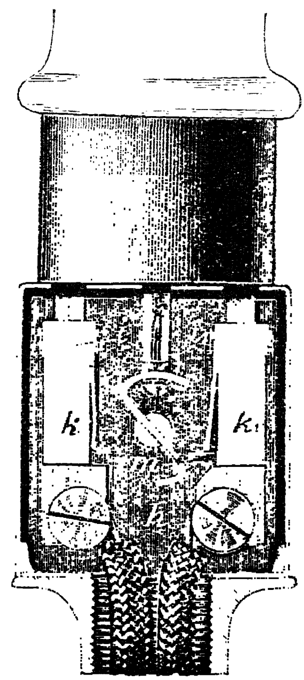


Fig. 52.

26. Serienschaltung von Akkumulatorenbatterien.

Ein anderes System des Transportes hochgespannter Energie nach den Konsumgebieten ergiebt sich dadurch, dass Akkumulatorenbatterien, welche über das Konsumgebiet verteilt sind, während der Ladung in Serie geschaltet werden. Jede einzelne Akkumulatorenanlage bildet hier eine Unterstation, von der aus den Konsumenten entweder mit Hilfe eines Zweileiter- oder Dreileiternetzes in bekannter Weise der Strom zugeführt wird, wie solches z. B. in Colchester praktische Anwendung gefunden hat. Zur Aufrechterhaltung einer konstanten Spannung in diesen Sekundärnetzen sind zwar Speisekabel nicht entbehrlich, doch können bei günstig gewählter centraler Lage der Unterstationen nicht unwesentliche Ersparnisse an Leitungsmaterial gegenüber der direkten Stromverteilung von einer einzigen Centralstation aus resultieren, auch wird auf diese Weise die Möglichkeit gegeben, die Ausdehnung des gesamten Konsumgebietes gegenüber der direkten Gleichstromverteilung ganz

erheblich zu steigern. Damit durch die hohe Ladespannung das sekundäre Netz mit seinen Anschlüssen niemals gefährdet werden kann, sind bei diesem System in jeder Unterstation zwei Batterien anzuordnen, von denen nur jeweilig eine vom Sekundärnetz vollständig abgetrennte Serie geladen wird, während die andere zur Entladung auf das Netz geschaltet ist.

Die gesamten Kosten der Stromlieferung können bei diesem System nur dann geringer ausfallen, als bei dem direkten Stromverteilungssystem, wenn die Ersparnisse an Leitungsmaterial, sowie die aus den günstigeren Belastungsverhältnissen der Dampfmaschinen während der Ladeperiode resultierenden Vorteile nicht nur die Kosten der kompletten Akkumulatoren-Unterstationen inkl. Amortisation und Verzinsung aufwiegen, sondern auch noch gegen die durch die Energieverluste in den Akkumulatoren bedingte Erniedrigung des gesamten Wirkungsgrades der Stromverteilung aufgerechnet werden können, was wohl im allgemeinen nie zutreffen dürfte, weshalb auch diesem System keine grosse praktische Bedeutung beizumessen ist.

27. Direkte Kraftübertragung durch hochgespannten Gleichstrom.

Eine weitere Möglichkeit des Transportes hochgespannter Energie in Form von Gleichstrom nach entfernt liegenden mit niedriggespannter Energie zu versorgenden Konsumgebieten ist durch eine Anordnung gegeben, wie sie von der Maschinenfabrik Örlikon zu Ende des Jahres 1887 zur Übertragung einer Wasserkraft von maximal 50 PS von Kriegstetten nach Solothurn für einen dortigen Werkstättenbetrieb auf eine Entfernung von 8 km ausgeführt worden ist,[1] und welche seinerzeit wegen des dabei erzielten hohen Wirkungsgrades von 75 % ganz bedeutendes Aufsehen erregte. In Kriegstetten befanden sich zwei von einer Turbine angetriebene, in Serie geschaltete Hauptstromdynamos von je 1000—1250 Volt Spannung, bei einer Stromstärke von etwa 15 Amp., welche durch eine oberirdische Leitung von 9 Ohm mit zwei mechanisch gekuppelten, ebenfalls in Serie geschalteten Hauptstrommotoren verbunden waren. Soll die so übertragene Energie in elektrische von niederer Spannung umgewandelt werden, so müssen die Elektromotoren mit einer entsprechenden Dynamo kombiniert werden, wie dieses z. B. von der Firma Alioth & Co. in Basel für die Beleuchtungsanlage in Pontresina (Fig. 53) zur Ausführung gelangt ist, wodurch der gesamte Wirkungsgrad naturgemäss infolge des Energieverlustes in dieser Dynamo noch verringert wird.

Der Hauptnachteil dieses Systems liegt darin, dass die Spannungsgrenze einer Gleichstromdynamo, bei welcher noch ein sicherer Betrieb möglich ist, wegen des ungünstigen Verhaltens des Kommutators bei Hochspannung, eine relativ sehr beschränkte ist. Eine beliebig hohe Spannung lässt sich bei Gleichstrom daher nur durch Hintereinanderschaltung einer entsprechenden Anzahl Dynamos bewirken, wodurch das System nicht nur verteuert und kompliziert, sondern auch der Wirkungsgrad infolge der Verwendung der kleineren Maschineneinheiten ungünstig beeinflusst wird.

28. Wechselstrom-Transformatorensystem.

Die einfachste Lösung der Aufgabe, Energie auf weite Entfernungen zu übertragen und zu verteilen, lässt sich unzweifelhaft mit Hilfe hochgespannter Wechselströme in Verbindung mit Transformatoren bewirken.

Dieses System weist nicht nur eine befriedigende Einfachheit in der Umwandlung hochgespannter Energie in niedriggespannte auf, sondern ist auch derartig anpassungsfähig an die verschiedensten Bedürfnisse, welche eine weit verzweigte Energieverteilung bedingen kann, steht auch in bezug

1) Vgl. Schweizerische Bauzeitung 1888, No. 1 u. 2.

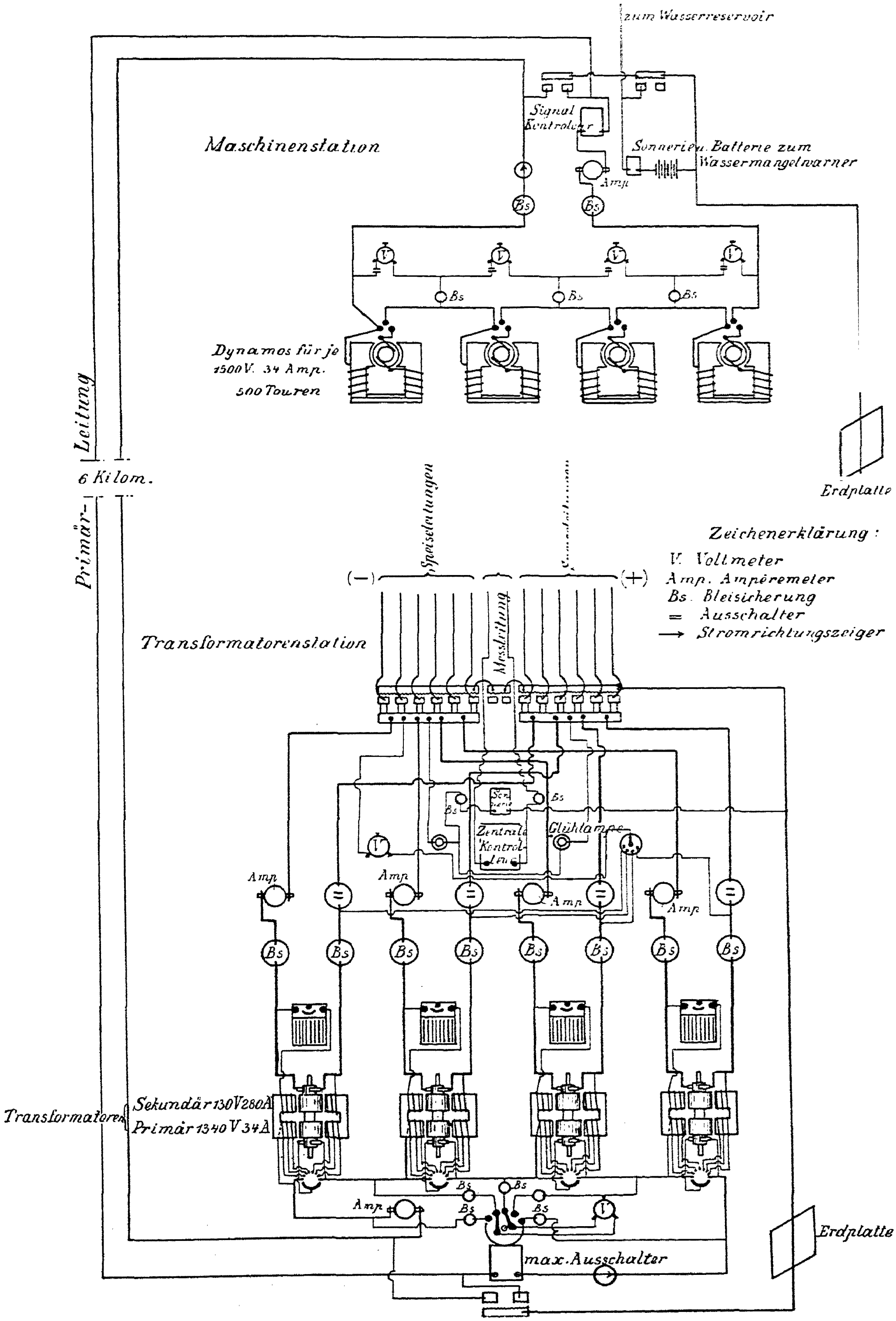


Fig. 53. Schaltungsschema für die Centrale Pontresina.

auf Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit den anderen auf direkten Maschinenbetrieb angewiesenen Systemen bei nur einigermassen günstigem Ausnutzungsfaktor kaum nach, so dass die ausserordentlich weite Verbreitung, welche das Wechselstrom-Transformatorensystem in den verschiedensten Formen und Abarten gefunden hat, nicht Wunder nehmen kann.

29. Reihenschaltung von Transformatoren. System Gaulard & Gibbs.

Die ersten, welche hochgespannten Wechselstrom unter Zuhilfenahme von Transformatoren in wirtschaftlicher Weise auf grössere Entfernungen übertragen haben, waren GAULARD & GIBBS. Dieselben benutzten gemäss dem im Jahre 1882 genommenen Patent Transformatoren mit offenem Magnetsystem (Fig. 54) mit dem Übersetzungsverhältnis 1 : 1, deren primäre Wicklungen sämtlich in Serie geschaltet waren, so dass die Centrale die Summe aller Einzelspannungen zu liefern hatte. Der Beweis für die Anwendbarkeit dieses Systems wurde zunächst 1883 im Royal-Aquarium in London und sodann auf der Turiner Ausstellung im Jahre 1884 erbracht, indem im letzteren Falle vom Bahnhofe in Lanzo aus unter Anwendung einer etwa 80 km langen Leitung die Ausstellungsgebäude mit neun BERNSTEIN-Lampen, einer Sonnenlampe und 18 Swanlampen, sowie die Bahnhöfe von Turin mit 35 EDISON-Lampen à 16 Normalkerzen und 48 Glühlampen à acht Normalkerzen und einer Bogenlampe, Venaria mit zwei Bogenlampen und Lanzo mit neun BERNSTEIN-Lampen, 16 Swanlampen, einer Sonnenlampe und zwei SIEMENS-Lampen beleuchtet wurden.

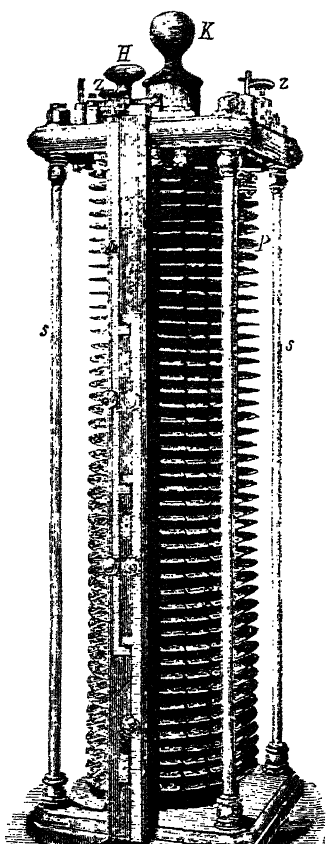


Fig. 54.

Die Serienschaltung von Transformatoren schliesst zwar die Unabhängigkeit der angeschlossenen Lampen voneinander theoretisch aus, die letztere wurde aber trotzdem durch die offene magnetische Form der Transformatoren, welche eine enorme magnetische Streuung zuliess, sowie durch eine geringe, mit Hilfe des verschiebbaren Eisenkernes ermöglichte Regulierbarkeit bis zu einem gewissen Grade erreicht.

30. Parallelschaltung von Transformatoren, System Zipernowski, Déri, Blathy.

Die eminente Bedeutung, welche dem Wechselstrom-Transformatorensystem innewohnt, konnte erst zur Geltung kommen, nachdem es den Ingenieuren ZIPERNOWSKI, DÉRI und BLATHY von der Firma GANZ & Co. in Budapest gelungen war, ein Parallelschaltungssystem von pollosen Transformatoren auszuarbeiten, deren magnetische Kraftlinien vollständig im Eisen verlaufen (Fig. 55) und wodurch erst die Selbstregulierung, d. h. die Konstanz der Sekundärspannung bei variabler Belastung gewährleistet ist. Dieses System wurde zum ersten Male auf der Budapester Landesausstellung im Jahre 1885 praktisch vorgeführt, woselbst in verschiedenen Pavillons und Restaurants 1200 Glühlampen brannten, welche von der Centralstation durchschnittlich 1300 m entfernt lagen. — Da bei gegebener primärer Spannung das Übersetzungsverhältnis zwischen primärer und sekun-

därer Windungszahl die Höhe der Sekundärspannung bestimmt, so kann gegebenenfalls bei ein und derselben Primärspannung durch entsprechende Wahl des Transformators eine beliebige Sekundärspannung geliefert werden.

Das Wechselstrom-Transformatorensystem lässt zwei verschiedene Anwendungsformen zu, nämlich das sogenannte Einzel-Transformatorensystem, bei welchem jedes Haus oder jeder Konsument seinen besonderen der Grösse des Anschlusswertes angepassten, von einem Primärnetz gespeisten Transformator erhält, oder eine solche Anordnung, bei welcher im allgemeinen sämtliche vom Primärnetz gespeiste Transformatoren auf ein gemeinschaftliches Sekundärnetz, sei es nach dem Zweileiter- oder Dreileitersystem, arbeiten.

Die Aufwendungen für das Sekundärnetz mögen vielleicht auf den ersten Blick entbehrlich erscheinen, es hat sich aber in der Praxis gezeigt, dass namentlich da, wo eine gewisse Konsumdichte vorhanden ist, durch die Anwendung des Sekundärnetzes in wirtschaftlicher Beziehung wesentliche Vorteile herbeigeführt werden können. Dieses hat seinen Grund einmal darin, dass die Kosten für viele kleine Transformatoren mit dem erforderlichen Zubehör sich nicht unwesentlich höher stellen, als wenn die Summe aller dieser Transformatorenleistungen in wenigen grossen vereinigt wird. Des weiteren ist es aber noch möglich, beim Vorhandensein eines Sekundärnetzes die Summe der Leistung aller Transformatoren kleiner zu bemessen als die Summe der Maxima jedes einzelnen Konsumenten, da nicht bei allen Konsumenten zu gleicher Zeit die maximale Stromentnahme auftritt, während beim Einzel-Transformatorensystem jeder Transformator dem maximalen Einzelkonsum angepasst sein muss. Des weiteren übernehmen beim Vorhandensein eines Sekundärnetzes im Falle der Ausserbetriebsetzung eines einzelnen Transformators die übrigen ohne weiteres die Stromversorgung, so dass die Möglichkeit gegeben ist, entsprechend dem im Sommer stattfindenden Rückgang der Belastung, eine Anzahl Transformatoren behufs Ersparnis von Eisenverlusten auszuschalten. Schliesslich sind grosse Transformatoren noch in bezug auf den Wirkungsgrad den kleineren überlegen. Über diese Verhältnisse giebt die nachstehende Tabelle III, welche den Wirkungsgrad und Bruttopreis der AWO-Transformatoren der A. E. G. enthält, genügenden Aufschluss.

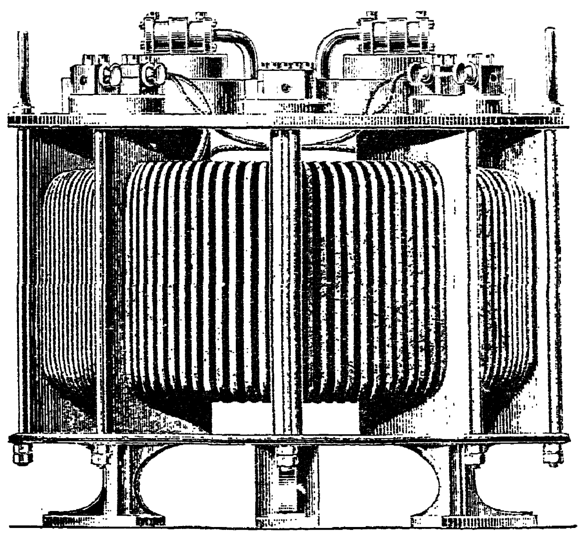


Fig. 55.

Einer der Hauptnachteile des Wechselstrom-Transformatorensystems liegt in den dauernden Magnetisierungsverlusten der Transformatoren, welche mit durchschnittlich 2 % ihrer nominellen Leistung in Ansatz gebracht werden können und die namentlich bei geringer Benutzungsdauer, wie sie z. B. der reine Lichtbetrieb mit sich bringt, schwer ins Gewicht fallen. Der Technik

Tabelle III.

Wechselstrom-Öl-Transformatoren, Type AWO, der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft.

Leistung KVA	Wirkungsgrad bei Volllast in	Leerlaufsverlust in Watt	Gewicht ohne Ölfüllung in kg	Bruttopreis in M.
1	93·9	35	70	200
1·5	94·5	45	85	225
2	94·9	55	105	255
3	95·1	70	125	290
4	95·7	85	155	345
5	95·8	100	170	390
7·5	96·4	135	280	480
10	96·7	155	320	570
15	97·1	205	400	775
20	97·3	240	460	920
25	97·4	310	570	1065
30	97·7	335	655	1200
37·5	97·8	395	800	1375
50	97·9	470	985	1750

ist es jedoch auch hier gelungen, durch Schaffung automatisch wirkender Transformatorenausschalter, welche von der sekundären Belastung abhängig sind, bessernd zu wirken.[1])

31. Mehrphasensystem. Der Drehstrom, dessen Grundprinzipien von Professor FERRARIS entdeckt sind, und der auf der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung zu Frankfurt a. M. im Jahre 1891 unter anderen seitens der A. E. G. bei der denkwürdigen und Epoche machenden Kraftübertragung von Lauffen nach Frankfurt a. M. Verwendung fand, woselbst auf eine Entfernung von 175 km 300 PS bei einer Spannung von etwa 20000 Volt durch oberirdische Leitungen übertragen wurden, besteht aus der Kombination dreier um 120^0 in der Phase verschobener Wechselströme. Durch diese Kombination wird ein rotierendes magnetisches Feld geschaffen, welches auf einen in dasselbe gebrachten kurz geschlossenen Stromleiter ein Drehmoment auszuüben vermag, und wodurch das Drehstromsystem in hervorragender Weise zur Kraftübertragung in der denkbar einfachsten Weise befähigt ist, ohne im übrigen die Transformationsfähigkeit des einfachen Wechselstromes verloren zu haben. In ähnlicher Weise, wenn auch nicht ganz so günstig, verhält sich der Zweiphasenstrom. Es kann daher kein Wunder nehmen, dass bei der günstigen Aufnahme und eminenten Verbreitung, welche der Elektromotorenbetrieb in der Technik gefunden hat, das Drehstromsystem sehr bald zu einer dominierenden Stellung unter den Stromverteilungssystemen für Kraftlieferung gelangte.

Während bei dem einphasigen Wechselstrom ursprünglich nur die Verwendung von Synchronmotoren mit besonderer Gleichstromerregung möglich

1) Vgl. ETZ 1902, S. 513, sowie Hdb. VI.

war, welche vor der Einschaltung auf Synchronismus gebracht werden mussten und sich daher für den Anschluss an eine Wechselstromcentrale wenig eigneten, gestattet das Drehstromsystem sowohl die Verwendung von synchronen als auch asynchronen Motoren, welch letztere beim Anlaufen sogar das Mehrfache der normalen Zugkraft auszuüben vermögen.

Erst wesentlich später hat man auch bei den Wechselstrommotoren gelernt, ein künstliches Drehfeld zu schaffen, so dass nunmehr auch bei Wechselstromcentralen der Anschluss von Motoren in grösserem Umfange ermöglicht ist.

Der Drehstrom ist jedoch nicht nur für den Betrieb von Elektromotoren geeignet, wenn derselbe auch hierin seine wesentlichste Überlegenheit gegenüber dem einphasigen Wechselstrom besitzt, sondern durch Auflösung der drei verketteten Ströme in drei einphasige Wechselströme lassen sich auch alle für einphasigen Wechselstrom geeigneten Stromverbrauchsapparate verwenden.

Damit der Transport der Energie bis zur Verwendungsstelle mit dem geringsten Aufwand an Leitungsmaterial bewirkt werden kann, findet in diesem Falle die Stromverteilung in der verketteten Form statt. Die Auflösung in drei einphasige Wechselströme erfolgt nach Bedarf beim Konsumenten. Nur für besondere Zwecke löst man bereits den Drehstrom beim Eintritt in die Transformatoren dadurch auf, dass drei einphasige Wechselstrom-Transformatoren zur Aufstellung gelangen. Diese Anordnung hat namentlich dann Vorteile, wenn der Lichtkonsum überwiegt, da hierbei die Ungleichheiten in der Belastung der drei Zweige eine etwas geringere Ungleichheit der Spannungen zur Folge haben, erfordert jedoch etwas grösseres Anlagekapital.

Ein anderes Mittel, die Spannung an den Lampen von der ungleichen Belastung der einzelnen Zweige unabhängiger zu machen, besteht darin, dass die Lampen zwischen die drei Hauptleitungen und den neutralen Punkt des Drehstromsystems geschaltet werden, was naturgemäss die Verlegung von vier Leitungen zur Voraussetzung hat. Da es jedoch möglich ist, die Drehstromgeneratoren so zu bauen, dass die Rückwirkung auf die Maschine, selbst bei ungleicher Belastung der einzelnen Phasen, ein zulässiges Mass nicht überschreitet, so erscheint die Komplikation mit der vierten Leitung entbehrlich.

In welchem Masse die Ersparnisse an Leitungsmaterial möglich sind, ergiebt sich am deutlichsten durch die Gegenüberstellung der beiden Formeln zur Berechnung des Leitungsquerschnittes für Drehstrom und einphasigen Wechselstrom. Dieselbe lautet für Drehstrom:

$$Q_d = \frac{l \cdot 100 \cdot W}{\varkappa \cdot E^2 \cdot \cos^2\varphi \cdot \eta}$$

und für Wechselstrom:

$$Q_w = \frac{l \cdot 200 \cdot W}{\varkappa \cdot E^2 \cdot \cos^2\varphi \cdot \eta}$$

Hierbei bedeutet W die zu übertragende Energie in Watt, l die einfache Länge der Leitung, $\varkappa$ die Leitungsfähigkeit von Kupfer, φ den Winkel der Phasenverschiebung und η den Leitungsverlust in Procenten.

Die Stromverteilung erfolgt im übrigen genau so wie bei Wechselstrom. Selbstverständlich kann auch beim Drehstrom das Einzel-Transformatorensystem oder das System mit sekundärem Verteilungsnetz zur Anwendnng gelangen.

Die Vorzüge, welche dem Drehstromsystem für Motorenbetrieb innewohnen, hat man auf das einphasige Wechselstromsystem dadurch zu übertragen versucht, dass zu dem letzteren eine Hilfsleitung gelegt wurde, welche einen Strom führt, der gegen das Hauptsystem in der Phase verschoben ist. Da jedoch eine derartige Anordnung niemals alle günstigen Eigenschaften des Drehstromes in sich zu vereinigen vermag, so erscheinen die kombinierten Stromverteilungssysteme um so mehr entbehrlich, als die modernen Wechselstrommotoren eine hinreichende Vollkommenheit aufweisen, und erhebliche Schwierigkeiten beim Anlassen derselben nicht mehr bestehen. Ein näheres Eingehen auf die vielen in Vorschlag gebrachten Arten der kombinierten Systeme dürfte sich demnach an dieser Stelle erübrigen.

32. Wechselstrom-Gleichstrom-Umformersystem.

Das Wechselstrom-Gleichstrom-Umformersystem gestattet eine Energieübertragung nach den in grosser Entfernung liegenden Konsumcentren mit geringen Verlusten in wirtschaftlicher Weise und die Verteilung der Energie in Form von Gleichstrom. Überall da, wo die Umformungsverluste durch die Vorzüge des Gleichstromes aufgewogen werden, erfolgt die Energieübertragung auf grosse Entfernungen in der zweckmässigsten Weise durch das Wechselstrom-Gleichstrom-Umformungssystem. Dasselbe ist ein doppeltes Stromverteilungssystem, indem zunächst eine Verteilung hochgespannten Wechselstromes an die verschiedenen Konsumcentren erfolgt. Da es sich in diesem Falle nur um den Betrieb von Motoren handelt, so gelangt am besten der Wechselstrom in der Form von Drehstrom zur Anwendung. Nach erfolgter Umformung des Drehstromes in Gleichstrom greift die sekundäre Stromverteilung entweder nach dem Zweileiter- oder dem Dreileitersystem Platz, über welche das Nähere bereits an anderer Stelle gesagt ist.

Es darf jedoch nicht ausser acht gelassen werden, dass, wenngleich bei dem Wechselstrom-Gleichstrom-Umformersystem die Magnetisierungsverluste in den Transformatoren nur während der Dauer des Maschinenbetriebes auftreten, die Stromumformung doch wiederum nicht unwesentliche Verluste bedingt, zu denen diejenigen in den sekundären Gleichstromspeiseleitungen hinzutreten, und dass ausserdem auch noch die zusätzlichen Aufwendungen für Amortisation und Verzinsung, sowie Betriebsführung in der Unterstation in Rechnung zu ziehen sind, so dass sich das Umformersystem nur in Orten mit relativ grosser Konsumdichte rentieren wird.

33. Stromverteilung für Strassenbahnen.

Die mittels Gleichstrom bewirkte Stromverteilung für Strassenbahnen unterscheidet sich von der für Licht und Kraft in erster Linie, abgesehen von der Verwendung höherer Spannung, dadurch, dass erstens ein Verteilungsnetz nicht zur Anwendung kommt, der Strom vielmehr von der mit Arbeitsleitung bezeichneten Verlängerung der Speiseleitung direkt abgenommen wird, und ferner dadurch, dass mit Ausnahme der Unterleitungsstrecken die Fahrschienen, welche von Erde nicht besonders isoliert sind, zur Stromrückleitung mit benutzt werden.

Der letztere Umstand ermöglicht das Auftreten von Zweigströmen durch das Erdreich, den wegen der zerstörenden Wirkung auf Gas-, Wasser- und sonstige im Erdboden eingebettete metallische Leitungen gefürchteten vagabondierenden Strömen, für deren Verhinderung besondere Vorkehrungen geboten sind.

Stehen die Arbeitsleitungen unter sich, sowie die Fahrschienen der Strassenbahn miteinander in Verbindung, so könnte man die Stromzuführung auf wenige Punkte beschränken und die Rückleitung des Stromes von einer

in der Nähe der Centrale gelegenen Stelle der Fahrschienen vornehmen. Eine derartige Anordnung würde sich zwar sehr billig stellen, jedoch den berechtigten Anforderungen an Betriebssicherheit und Vermeidung von vagabondierenden Strömen nicht genügen.

Auch beim Strassenbahnbetrieb verlangt man, dass jeder Wagen möglichst unabhängig vom anderen verkehren kann. Dieses bedingt, dass die Arbeitsleistung in gewisse Abschnitte geteilt wird, welche normalerweise untereinander nicht in Kontakt stehen, damit etwaige, durch einen Wagen hervorgerufene Kurzschlüsse nicht die Störung des gesamten Betriebes zur Folge haben. Jeder Abschnitt der Arbeitsleitung bezw. jeder Bezirk erhält naturgemäss alsdann seine eigene Speiseleitung, welche am Ausgangspunkt in der Centrale mit den erforderlichen Mess- und Sicherheitsapparaten ausgerüstet wird.

Damit das Auftreten vagabondierender Ströme vermieden wird, ist es erforderlich, erhebliche Spannungsverluste in den zur Stromrückleitung dienenden Fahrschienen, welche unter keinen Umständen zwei Volt übersteigen dürfen, zu vermeiden. Dieses wird erreicht, indem einmal an den Schienenstössen eine gut leitende Überbrückung hergestellt wird, und sodann dadurch, dass die Querschnittsbelastung durch Anordnung besonderer Rückleitungen von mehreren Stellen der Schienen zur Centrale zurück in den zulässigen Grenzen gehalten wird. Die vorteilhafteste Anordnung ist die, dass an jeder Einmündungsstelle der Speiseleitung an die Arbeitsleitung auch eine Rückleitung von den Schienen zur Centrale gelegt wird, wie dieses z. B. in Berlin der Fall ist, woselbst schädliche Wirkungen vagabondierender Ströme bis jetzt nicht konstatiert werden konnten.

Ist diese grössere Anzahl von Rückleitungen aus wirtschaftlichen Gründen zu vermeiden, so müssen künstliche Hilfsmittel herangezogen werden, um den nach erfolgter Arbeitsleistung zur Centrale zurückstrebenden Strömen die zulässigen Wege vorzuschreiben. Dieses erfolgt durch den Betrieb besonderer in die Rückleitungen von den Schienen eingebauten Zusatzdynamos, wodurch eine Art saugender Wirkung erzielt wird.[1]) Den Rückleitungsströmen wird in diesem Falle einmal der Weg durch die Schienen und das Erdreich zur Centrale zurück offenstehen und andererseits parallel dazu der Weg über die Zusatzspannung. Da sich aber stets die Stromverzweigung so einstellt, dass die zwischen zwei Punkten sich ergebende Spannungsdifferenz der einzelnen Stromzweige einander gleich wird, so wird durch eine derartige Zusatzspannung parallel zu einem Leiterabschnitt, nämlich den Schienen, die Wirkung erzielt, dass auf der überbrückten Stelle bei hinreichender Zusatzspannung kein Strom zur Centrale direkt zurückfliessen kann, sondern der Strom gezwungen wird, seinen Weg über die Zusatzdynamo zu nehmen. In diesem Falle braucht kein Gewicht darauf gelegt zu werden, alle Rückleitungen für den gleichen Spannungsverlust zu dimensionieren, es kann vielmehr jede Rückleitung so stark belastet werden, wie der Querschnitt es zulässt.

Die Anzahl der erforderlichen Rückleitungen richtet sich hierbei ebenfalls nach der an den verschiedenen Stellen der Fahrschienen auftretenden Stromdichte bezw. nach den resultierenden Spannungsverlusten, kann jedoch auf alle Fälle im Vergleich zur Stromrückleitung ohne Zusatzdynamo ganz wesent-

1) Vgl. ETZ 1896, S. 43; 1902, S. 19.

lich reduziert werden, so dass im allgemeinen durch Einführung der Zusatzdynamos nennenswerte Kupferersparnisse zu erzielen sind.

Es verdient jedoch noch erwähnt zu werden, dass die Führung einer Hin- und einer Rückleitung nach jedem Speisepunkte den grossen Vorzug besitzt, dass beim Defektwerden einer Hinleitung, die Rückleitung an deren Stelle durch Umschaltung gesetzt werden kann, so dass der Fahrbetrieb von solchem Fehler ungestört bleibt. Ist nicht nach jedem Speisepunkt eine Rückleitung gezogen, so lässt sich bei einem Defekt der Hinleitung eine Betriebsstörung nur durch Zusammenschaltung mehrerer benachbarter Bezirke vermeiden, wobei diese unter Umständen überlastet werden, oder eventuell die Spannung in dem gestörten Bezirk unzulässig tief sinkt.

Um auch beim Bahnbetrieb an Leitungskosten zu sparen, ohne die Betriebsspannung für die einzelnen Wagen zu erhöhen, welche mit 500 bis 600 Volt immerhin schon recht hoch sind, ist mit Erfolg der Versuch gemacht worden, eine Art Dreileitersystem zur Anwendung zu bringen.[1]) Hierbei erhalten jedoch aus Gründen der Sicherheit nicht die beiden nebeneinander liegenden Fahrdrähte der Doppelgleise die doppelte Spannung, sondern die Verteilung auf die beiden Zweige des Dreileiternetzes erfolgt derartig, dass ein ganzer Bezirk auf die eine Netzhälfte und ein anderer Bezirk auf die andere geschaltet wird.

In neuerer Zeit ist an verschiedenen Stellen anstatt des Gleichstromes Wechselstrom[2]) oder Drehstrom[3]) zum Betrieb von Bahnen verwendet, ein Verfahren, das wegen der einfachen Transformierbarkeit grosse Vorzüge bei Überwindung langer Strecken besitzt. Da der Drehstrom den Nachteil hat, dass mindestens zwei Fahrdrähte erforderlich sind, so dürfte der einphasige Wechselstrom, für welchen sehr brauchbare Motoren zu diesem Zwecke vorhanden sind, den Vorzug verdienen. Ob jedoch der Wechselstrombetrieb in bezug auf Einfachheit, Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit dem Gleichstrombetrieb ganz ebenbürtig ist, muss erst durch grössere praktische Erfahrungen bewiesen werden.

34. *Zweck der Akkumulatoren in Centralstationen.* Bei der Auswahl und Beurteilung des Wertes der verschiedenen Stromverteilungssysteme für ein Elektrizitätswerk sind ausser den Gesichtspunkten der technischen Einfachheit und der Wirtschaftlichkeit noch die der Betriebssicherheit von hervorragender Bedeutung. Es ist leider nicht zu leugnen, dass bei einem lediglich auf Maschinenbetrieb angewiesenen Stromverteilungssystem Betriebsstörungen nicht ganz ausgeschlossen sind, welche Gefahr durch die Verwendung hoher Spannungen noch vermehrt wird.

In dieser Beziehung bieten nun die Akkumulatoren ein unschätzbares Mittel zur Erhöhung der Betriebssicherheit, und es dürfte wohl kaum ein modernes Gleichstrom-Elektrizitätswerk ohne Akkumulatoren projektiert werden. Von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet sind die mit Akkumulatoren ausgerüsteten Wechselstrom-Gleichstrom- bezw. Drehstrom-Gleichstrom-Umformersysteme bei richtiger Bemessung der Akkumulatorenleistung entschieden den direkten Wechselstrom-Verteilungssystemen überlegen.

Diese wichtigste Aufgabe der Akkumulatoren, nämlich die Betriebssicherheit der Centralstationen zu erhöhen, wird dadurch erzielt, dass dieselben

1) Vgl. ETZ 1900, S. 1063.
2) Vgl. ETZ 1903, S. 709.
3) Vgl. ETZ 1903, S. 305.

parallel zum Netz geschaltet werden und dann im Falle einer Betriebsstörung die Stromlieferung automatisch übernehmen. Die Grösse der Akkumulatorenbatterie ist daher nach dem möglichen Umfang einer auftretenden Störung in der Stromlieferungsanlage zu dimensionieren. Da bei Gleichstromwerken mit direkter Stromverteilung eine Störung des gesamten Maschinenbetriebes so gut wie ausgeschlossen ist, so braucht nur auf eine Reserve für das einzelne Aggregat Rücksicht genommen zu werden, und es ist demnach die maximale Leistungsfähigkeit der Batterie, zweckmässig gleich der Leistung des grössten Maschinensatzes zu wählen.

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei den Umformerstationen, wo eine Störung in der Hochspannungsleitung oder in der Primärcentrale leicht den Betrieb sämtlicher Umformer auf einmal zum Stillstand bringen kann. Hier dürfte die maximale Leistungsfähigkeit der Batterie vorteilhaft gleich der maximalen Stromabgabe an das Netz zu wählen sein. Da jedoch die Akkumulatoren ohne Schaden eine Überlastung bis zum dreifachen Betrage ihrer normalen Leistung auszuhalten vermögen, so genügt es, die normale Leistungsfähigkeit einer Batterie für eine Unterstation auf ein Drittel der maximalen Stromabgabe zu bemessen.

Eine weitere Aufgabe der Akkumulatoren besteht darin, während derjenigen Betriebsperiode die Stromlieferung zu übernehmen, in welcher die Maschinenbelastung so gering ist, dass der Maschinenbetrieb grössere Verluste bedingt als die Verluste in den Akkumulatoren. Im allgemeinen dürfte eine nach den Gesichtspunkten der Momentreserve dimensionierte Batterie auch ausreichend sein, die Stromlieferung in der Periode des geringen Konsums zu übernehmen.

In welcher Weise die auf die erzeugte Stromeinheit bezogenen Kosten des Feuerungsmaterials bei sinkender Belastung der Maschinen steigen, zeigt Fig. 56. Als Abszissen sind die Werte der prozentualen Maschinenbelastung und als Ordinaten die Kosten des auf die erzeugte Stromeinheit bezogenen Feuerungsmaterials aufgetragen. Die Werte sind im praktischen Betrieb mit steigender Entwickelung eines Elektrizitätswerkes für Durchschnittsleistungen innerhalb 24 Stunden gewonnen, bei einer totalen Maschinenleistungsfähigkeit von insgesamt 900 PS, und enthalten sämtliche von der Kesselfeuerung bis zur erzeugten elektrischen Energie auftretenden Verluste.

An der Hand einer solchen Kurve lässt sich die Rechnung leicht durchführen, wann unter gegebenen Verhältnissen der Maschinenbetrieb sich teurer stellt als die Stromlieferung aus einer Akkumulatorenbatterie, und man wird finden, dass eine Steigerung der Akkumulatorenleistung über die Anforderungen der Momentreserve hinaus im allgemeinen weniger wirtschaftlich ist.

Es sind bei dieser Vergleichsrechnung Verzinsung und Amortisation des Anlagekapitals der Akkumulatoren, sowie die nicht unerheblichen Instandhaltungskosten für denjenigen Umfang der Akkumulatorenanlage mit in Rechnung zu ziehen, welcher über die Anforderungen der Momentreserve hinausgeht. Im übrigen kommen lediglich die Energieverluste in den Akkumulatoren, welche mit 25 % der hineingeladenen Energie in Ansatz zu bringen sind, zur Gegenüberstellung mit den reinen Betriebskosten des Maschinenbetriebes, also mit Kohlenverbrauch sowie Putz- und Schmiermaterial und Arbeitslöhnen.

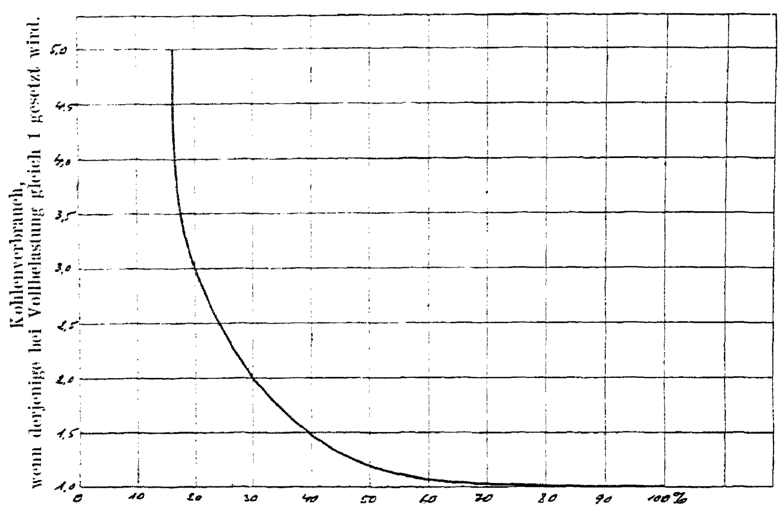
Die Verhältnisse werden sich um so mehr zu Ungunsten der Verstärkung der Akkumulatorenleistung verschieben, je gleichmässiger die Belastung der

Centrale sich gestaltet, d. h. je mehr sich die Tageskonsumkurve des Netzes einem Rechteck nähert. Es wird demnach bei reinem Lichtbetrieb der Akkumulator mehr als bei Motorenbetrieb an der Stromlieferung teilnehmen dürfen. Im ersteren Falle kann die Stromerzeugeranlage entsprechend kleiner gewählt werden, was bei der Rechnung in Rücksicht zu ziehen ist.[1])

Bei dieser Vergleichsrechnung darf nicht übersehen werden, dass die volle Kapazität des Akkumulators nur für wenige Stunden täglich, die Kapazität der Dampfmaschine dagegen ununterbrochen verfügbar ist.

Eine andere, namentlich für Centralstationen zur Lieferung von Strom für Strassenbahnzwecke wichtige Verwendung der Akkumulatoren ist diejenige als Pufferbatterie.

Bekanntlich schwankt der Kraftbedarf bei Strassenbahnen durch das Anfahren, Halten und verschieden schnelle Fahren der einzelnen Wagen ganz



Kohlenverbrauch für die erzeugte KWStd in Abhängigkeit vom Belastungsfaktor der Maschinen.

Fig. 56.

erheblich, wozu eventuell noch der Einfluss hügeligen Geländes hinzutritt, so dass der jeweilige Füllungsgrad der Antriebsmaschinen nicht nur stark schwankt, sondern es werden auch die einzelnen Füllungen zu der für den zugehörigen Kolbenhub zu leistenden Arbeit in keinem dauernd richtigen Verhältnis stehen können, was eine Erniedrigung des Wirkungsgrades und ausserdem Tourenschwankungen der Antriebsmaschinen zur Folge hat.

Zur Ausgleichung dieser Schwankungen im Energiebedarf und der Tourenzahl wird die Pufferbatterie benutzt. Die erzielte Wirkung beschränkt sich dabei nicht allein auf Ersparnisse im Verbrauch des Energieträgers, sondern durch die Milderung der aus den plötzlichen Belastungsänderungen resultierenden Stösse in den Maschinen werden die letzteren mehr geschont und die Abnutzung verringert.

---

1) In der ETZ 1901, S. 585, ist der Spezialfall einer eingehenden Berechnung unterworfen, bei dem die Grösse des Akkumulators so gewählt ist, dass am Tage der höchsten Inanspruchnahme des Werkes die Maschinen 24 Stunden ununterbrochen voll ausgenutzt werden.

Die Pufferwirkung besteht darin, dass der Akkumulator bei plötzlich zunehmender Belastung an der Stromlieferung sich beteiligt und bei plötzlicher Verminderung des Strombedarfes den Überschuss an Energie aufnimmt. Diese Aufgabe erfüllt der parallel zum Netz geschaltete Akkumulator dann am besten, wenn bei möglichst geringem inneren Widerstand des Akkumulators die offene Spannung im vollgeladenen Zustande gleich der Netzspannung gemacht wird.

Die Grösse des Akkumulators richtet sich einmal nach der Grösse der auftretenden Belastungsschwankungen und sodann nach der Grösse des Gesamtbedarfes an Energie, sofern die Batterie auch gleichzeitig als Momentreserve im Falle von Störungen im Maschinenbetriebe dienen soll.[1]) Ferner kann der Akkumulator dazu benutzt werden, zu Beginn und Ende des täglichen Bahnbetriebes, also zu Zeiten des geringsten Strombedarfes, die Stromlieferung allein zu übernehmen, wodurch der Wirkungsgrad der Anlage gehoben werden kann.

Nicht unerwähnt möge bleiben, dass die Pufferbatterie auch fern von der Centralstation Aufstellung finden kann, was namentlich Vorteile bietet, wenn aussergewöhnlich lange Strecken zu betreiben sind, oder wenn in grösserer Entfernung der Centrale nennenswerte Steigungen überwunden werden müssen.

Da die Notwendigkeit vorliegt, die durch die Verwendung von Akkumulatoren bedingten Energieverluste auf das geringste Mass zu beschränken, so muss ausser einer sparsamen Benutzung derselben vor allem dafür Sorge getragen werden, dass die Ladung der Batterie in der rationellsten Weise bewirkt wird.

Unter Umständen ergeben sich hierbei Unterschiede, je nachdem der Akkumulator sich in derselben Station befindet, in der der Strom erzeugt wird, oder ob derselbe in einer entfernt gelegenen Unterstation aufgestellt ist.

Es ist ferner dafür Sorge zu tragen, dass der Akkumulator auch während der Ladeperiode als Momentreserve dienen kann, in welchem Falle eine verminderte Anzahl Zellen parallel zum Netz liegen muss, was mit Hilfe eines Doppelzellenschalters leicht ausführbar ist.

Die rationellste Art, eine in der Erzeugerstation aufgestellte Batterie zu laden, ist die, dass eine Maschine von entsprechender Leistungsfähigkeit mit der erforderlichen erhöhten Spannung den Ladestrom direkt liefert. Sollte die Betriebsmaschine in ihrer Leistung zu gross sein, so dass eine zu ungünstige Belastung sich ergiebt, oder aber eine hinreichende Spannungserhöhung der Dynamo nicht zu erzielen sein, so ist die Aufstellung einer Zusatzdynamo am Platze, welche gestattet, die fehlende Spannung zur Netzspannung zu addieren und so die Ladung vorzunehmen. Eine Schaltung der Batterie in zwei parallele Gruppen und entsprechende Verminderung der Ladespannung ist jedenfalls weniger empfehlenswert, weil dadurch nicht nur die Schalteinrichtung komplizierter wird, sondern eine gleichmässige Ladung beider parallelen Zweige nur schwer ohne Regulierwiderstand dauernd erreichbar ist. Ausserdem würde die Akkumulatorenbatterie bei dieser Schaltung während der Dauer der Ladung nicht als Momentreserve dienen können.

Befindet sich die Akkumulatorenbatterie in einer grösseren Entfernung von der Centralstation, z. B. in einer Akkumulatoren-Unterstation, so gelten für das rationelle Laden dieselben Grundsätze wie oben entwickelt, nur muss

1) Über Berechnung des Kraftbedarfes von elektrischen Strassenbahnen siehe ETZ 1899, S. 111.

die Primärspannung bei direkter Ladung um den Spannungsverlust in der Speiseleitung noch vermehrt werden.

Eine sehr vorteilhafte Schaltung wurde von SCHUCKERT & Co. zuerst in Hamburg zur Anwendung gebracht, welche darin besteht, dass zum Laden einer entfernt aufgestellten Batterie etwa die doppelte Aussenleiterspannung des Netzes in der Primärcentrale zur Anwendung kommt, indem zwei Aussenleiterdynamos in Serie geschaltet werden.

Sekundär wird ein Satz von vier direkt gekuppelten Nebenschluss-Dynamomaschinen mit hintereinander geschalteten Ankern aufgestellt und die Ladeleitung an die aussen liegenden beiden Maschinen angeschlossen. Die beiden mittleren Dynamos werden wie bei einem Dreileitersystem an die Akkumulatorenbatterie unter Vermittelung der Ladeschlitten der Zellenschalter geschaltet und so dimensioniert, dass dieselben die Ladespannung abzugeben vermögen.

Werden die beiden mittleren Maschinen so erregt, dass dieselben Strom in die Akkumulatoren liefern, so müssen die beiden äusseren Dynamos als Motoren laufen und die erforderliche Kraft abgeben. Die von der Primärcentrale der Unterstation zugeführte Energie vermindert sich also zunächst um den Verlust in diesem kombinierten Maschinensatz. Der Rest geht in die Batterie oder bei entsprechender Schaltung und Spannungsregulierung in das Sekundärnetz. Die beiden aussen liegenden Motoren absorbieren von der gelieferten Spannung stets einen solchen Betrag, dass der Rest gleich der Ladespannung ist. Die von der Primärcentrale kommende Stromstärke geht nach Passieren der beiden aussen liegenden Motoren direkt in den Akkumulator bezw. in das Netz, und parallel dazu addiert sich der von den beiden angetriebenen Dynamomaschinen erzeugte Strom.

Die Strom- und Spannungsregulierung.

35. Allgemeines. In jedem Stromkreise stellt sich bekanntlich diejenige Stromstärke ein, welche entsprechend der herrschenden Spannung dem jeweiligen Widerstandswerte zukommt. Bei den Systemen der Reihenschaltung muss demnach zur Aufrechterhaltung einer konstanten Stromstärke eine Änderung der Spannung in der Centrale entsprechend der Änderung des Widerstandes aller Stromverbrauchsapparate der Reihe vorgenommen werden, während bei den Parallelschaltungssystemen solange normale Verhältnisse an den Konsumstellen unabhängig von der Anzahl der eingeschalteten Stromverbrauchsapparate bestehen, als für konstante Spannung an diesen Stellen gesorgt ist. Dieses ist der Fall, wenn die Spannung in der Centrale stets um den Betrag des Spannungsverlustes in den Zuleitungen höher als an der Verbrauchsstelle gehalten wird. Die Sorge um die Stromstärke beschränkt sich alsdann lediglich darauf, die Kapazität der Betriebsmittel dem jeweiligen Strombedarf anzupassen. Während also das System der Reihenschaltung für jeden neu einzuschaltenden Stromverbrauchsapparat eine entsprechende Erhöhung der Spannung in der Centrale erheischt, beschränkt sich die erforderliche Regulierung bei dem Parallelschaltungssystem nur auf die Ausgleichung der an und für sich klein gehaltenen Spannungsverluste, wodurch das letztere System die Unabhängigkeit der einzelnen Anschlüsse voneinander gewährleistet und dadurch eine bedeutende Überlegenheit über das System der Reihenschaltung erlangt.

Eine Spannungsregulierung bei einer Dynamo ist sowohl durch Änderung der Tourenzahl als auch der Stärke des magnetischen Feldes möglich. Da jedoch die Antriebsmaschinen der Regel nach mit einem empfindlichen Geschwindigkeitsregulator versehen sind, welcher bei der geringsten, infolge Mehrbelastung eintretenden Tourenverminderung automatisch eine entsprechend gesteigerte Energiezufuhr zur Antriebsmaschine bewirkt, dieser Regulator aber äusseren Eingriffen nicht gern unterworfen wird, um einmal keinen Anlass zu Tourenschwankungen zu geben, und andererseits, weil infolge der durch die bedeutenden Schwungmassen bedingten Trägheit des Systems erst eine gewisse Zeit verstreicht, bevor die gewünschte Wirkung sich geltend macht, so ist es allgemein üblich geworden, die Spannungsregulierung der Dynamos, von wenigen Ausnahmen abgesehen, ausschliesslich durch Änderung der Stärke des magnetischen Feldes herbeizuführen. **36.** Spannungsregulierung.

Die Spannungsregulierung dadurch automatisch zu gestalten, dass das Magnetfeld der Dynamos durch eine zu der Nebenschlusswicklung hinzugefügte Hauptstromwicklung proportional der Belastung verstärkt wird, hat für Elektrizitätswerke wenig Wert, weil die Höhe der Spannung in der Centrale nicht von der jeweiligen Belastung der einzelnen parallel arbeitenden Dynamos, sondern von der Belastung des Kabelnetzes, also unter Umständen, sofern mehrere Centralen auf ein gemeinsames Netz arbeiten, nicht einmal von der Belastung der Centrale allein abhängt, weshalb zweckmässig die Spannungsregulierung nur mit Hilfe von Nebenschlussdynamos durch den Nebenschlussregulator bewirkt wird. Die Verschiebung des Nebenschlussregulators lässt sich dagegen sehr wohl automatisch bewirken, indem eine Hilfskraft, die bei unrichtigen Spannungsverhältnissen selbsttätig eingeschaltet wird, die erforderliche Verschiebung vornimmt, wie dieses mit Erfolg vielfach ausgeführt worden ist.

Bei Akkumulatoren findet eine Spannungsregulierung in einfacher Weise durch Veränderung der Anzahl der Zellen statt, was mit Hilfe der Zellenschalter ermöglicht wird. Man findet jedoch auch Fälle, wo in Elektrizitätswerken von der Verwendung von Zellenschaltern ganz abgesehen ist, und die Spannungsregulierung ausschliesslich durch Zusatzmaschinen, welche auch für die Ladung der Batterie die erforderliche erhöhte Ladespannung zu liefern vermögen, bewirkt wird.

Um die Kapazität der Betriebsmittel dem jeweiligen Konsum anpassen zu können, sind für jede Stromquelle Schalt-, Regulier- und Messeinrichtungen zu treffen, die im Interesse der Einfachheit der Bedienung auf einer Schalttafel vereinigt oder wenigstens von einer Centralstelle aus betätigt werden. **37.** Zu- und Abschalten der Stromquellen.

Bei Gleichstromanlagen wird das Zu- und Abschalten von Stromquellen vorgenommen, nachdem die elektromotorische Kraft des betreffenden Aggregates auf den Wert der Klemmenspannung der in Betrieb befindlichen Stromquellen einreguliert ist. Die früher zum Zuschalten gebräuchlichen Lampenbatterieen oder Belastungswiderstände sind gänzlich entbehrlich geworden, seitdem die Regulatoren der Antriebsmaschinen einen ruhigen Gang der letzteren auch bei Leerlauf zulassen.

Eine Zuschaltung bei Wechselstrommaschinen bedingt ausser der Gleichheit der Spannung noch eine genaue Übereinstimmung der Periodenzahl sowie der Phase, welche nur durch Einwirkung auf den Geschwindigkeitsregulator der Maschine herbeigeführt werden kann. Soll auch diese Einwirkung vom Schaltbrett aus erfolgen, so ist bei Primärmaschinen die er-

forderliche Verstellung des Geschwindigkeitsregulators durch eine Einrichtung vorzunehmen, welche eine Fernschaltung gestattet, wie sie z. B. das D. R.-P. No. 72282 vorsieht.

Eine Änderung in der Verteilung der Belastung parallel geschalteter Wechselstrommaschinen, wie z. B. zum Zweck des Abschaltens, erfolgt ebenfalls nur durch entsprechende Einwirkung auf den Geschwindigkeitsregulator der Antriebsmaschine.

Zur Ermöglichung dieser Manipulation dient die Messeinrichtung, welche den jeweiligen Betriebszustand der einzelnen Betriebsmittel zur Anzeige zu bringen hat. Hierher gehören die Voltmeter zum Zwecke der Spannungsmessung, die Amperemeter und Wattmeter zur Bestimmung der Grösse der Belastung der einzelnen Betriebsmittel und die Phasenindikatoren zur Feststellung des Unterschiedes in der Periodenzahl und der Phase.

38. Spannungsteilung.

Bei den Dreileiter- und Mehrleitersystemen, bei welchen nur bei gleicher Belastung der beiden Netzhälften bezw. der Leiterabteilungen die Zwischenleitungen stromlos sind, ist es erforderlich, dafür Sorge zu tragen, dass bei ungleicher Belastung die Konstanz der Spannung an den Verbrauchsstellen gewahrt bleibt. In einfachster Weise wird dieses erfüllt, wenn ein Teil der Stromquellen für die Einzelspannungen eingerichtet und entsprechend in Serie geschaltet wird. Die Herbeiführung der Spannungsteilung durch die Dynamos ist mit einer Erhöhung der Anlagekosten insofern verknüpft, als sich zwei Dynamos von halber Leistung mit den erforderlichen Schalteinrichtungen teurer stellen, als eine einzige grosse. Aus diesem Grunde werden die Akkumulatoren mit Erfolg zur Spannungsteilung herangezogen. Damit eine ungleiche Entladung der Zellen durch Ungleichheiten in der Belastung der Netzhälften, sowie unnötige Energieverluste durch Überladung der geringer beanspruchten Batteriehälfte vermieden werden, ordnet man zweckmässig die Stromverbrauchsapparate der Centrale, wie Lampen und Motoren, umschaltbar auf die beiden Netzhälften an und schafft so den wünschenswerten Ausgleich.

Eine Spannungsteilung lässt sich ausser mit Unterteilung der Stromquellen auch noch durch sogenannte Ausgleichsdynamos vornehmen. Schaltet man z. B. bei einem Dreileitersystem zwei direkt gekuppelte Nebenschluss-Elektromotoren mit separat und konstant erregtem Feld in Serie auf die Aussenleiter, und verbindet den Mittelleiter des Netzes mit der Verbindungsklemme der Motoren, so wird bei konstanter Aussenleiterspannung die Tourenzahl derselben, abgesehen von dem geringen Tourenabfall bei steigender Belastung, ebenfalls konstant sein und damit auch die elektromotorische Kraft eines jeden Ankers. Wird nun die Belastung beider Netzhälften ungleich, so würde dieses ohne Ausgleichsdynamos auch eine ungleiche Spannung in den Netzhälften zur Folge haben. Es wird alsdann der Ausgleichsmotor derjenigen Netzhälfte, bei welcher eine Spannungssteigerung auftritt, eine Zunahme der Ankerstromstärke aufweisen müssen, da die Tourenzahl bei konstanter Aussenleiterspannung sich nicht ändern kann, und andererseits bei demjenigen Ausgleichsmotor, an dessen Anker die Netzspannung sinkt, zunächst eine Abnahme der Ankerstromstärke soweit eintreten, bis zwischen elektromotorischer Gegenkraft und Netzspannung Gleichheit herrscht. Sinkt die Netzspannung noch weiter, d. h. überwiegt die elektromotorische Kraft dieses Ankers, so giebt der letztere entsprechend Strom ins Netz und arbeitet als Dynamo. Es findet also eine Übertragung von Energie von der zu schwach belasteten Netzhälfte auf die zu stark

belastete statt. Mit Hilfe eines in den Schenkelstromkreis jeder Ausgleichsdynamo eingeschalteten Nebenschlussregulators lässt sich die Spannung in den beiden Netzhälften ganz exakt konstant erhalten. Die erforderliche Veränderung des magnetischen Feldes jedes einzelnen Motors mit Hilfe des Nebenschlussregulators zur Erhaltung konstanter Spannung in beiden Netzhälften kann dadurch noch vermindert werden, dass die Schenkel jedes einzelnen Motors für die Einzelspannung gewickelt und an die andere Netzhälfte wie der Anker angeschlossen werden. Die als Motor arbeitende Maschine hat dann das Bestreben, wegen der infolge Sinkens der Spannung bewirkten Schwächung des magnetischen Feldes, schneller zu laufen, was bei der als Dynamo arbeitenden Maschine eine Spannungssteigerung bewirkt, die durch die Verstärkung des magnetischen Feldes infolge der Spannungserhöhung in dieser Netzhälfte noch verstärkt wird.

Für ein Mehrleitersystem sind entsprechend mehr Motoren in Serie zu schalten.

Bei der Prüfung, ob für einen gegebenen Zweck sich die Anordnung von Ausgleichsdynamos empfiehlt, ist naturgemäss der dauernde Verlust in diesen Maschinen mit in Rechnung zu ziehen. Die zu wählende Grösse der Maschinen richtet sich nach dem höchsten auftretenden Wert der Ungleichheit in der Belastung beider Netzhälften, welche erfahrungsgemäss etwa 10—20 % von der maximalen Stationsbelastung beträgt.

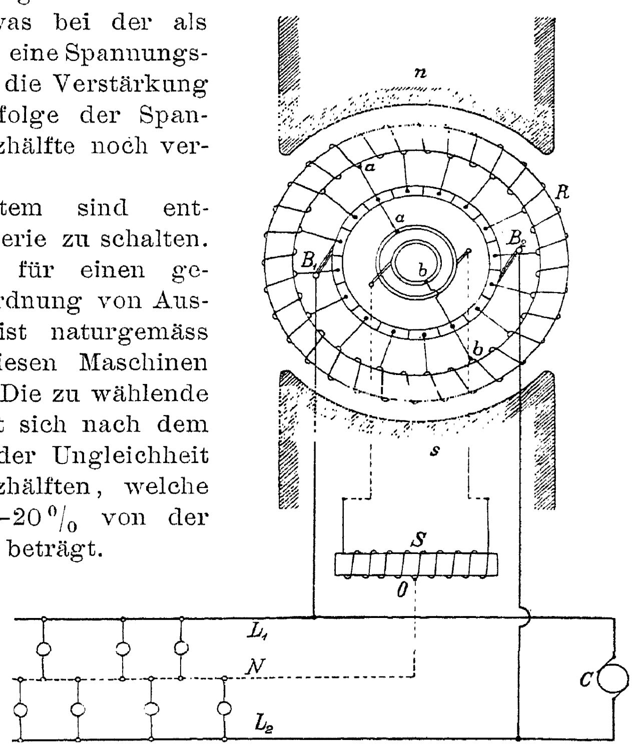


Fig. 57.

Eine weitere Möglichkeit, die Spannungsteilung bei einem Dreileitersystem mit auf die Aussenleiter arbeitenden Dynamos vorzunehmen, ist durch Spannungsteiler (Fig. 57) nach dem D. R. P. No. 73 892 [1]) gegeben.

Bekanntlich werden in jedem Gleichstromanker Wechselströme erzeugt, deren einzelne gleichgerichtete Stromimpulse mit Hilfe des Kommutators in Form von Gleichstrom abgeleitet werden. Führt man demnach zwei Punkte maximaler Potentialdifferenz der Ankerwicklung an zwei Schleifringe und schliesst hieran eine Induktionsspule, welche zweckmässig einen eisengeschlossenen, magnetischen Kraftlinienweg besitzt, so herrscht zwischen dem Mittelpunkt der gesamten Windungslänge dieser Induktionsspule und jedem Pol des Gleichstromes stets die halbe Spannung. Wird an diesen Punkt der Mittelleiter des Dreileitersystems angeschlossen, so wird bei ungleicher Belastung desselben die resultierende Stromdifferenz durch den Spannungsteiler zum Anker zurückfliessen. Allerdings werden Spannungsunterschiede

1) Vgl. ETZ 1894, S. 323, sowie ETZ 1900, S. 387.

in beiden Netzhälften um den Betrag des Spannungsverlustes in dem Spannungsteiler nicht zu vermeiden sein, welcher sich jedoch leicht auf $1^1/_2$ bis 2 % beschränken lässt.[1])

Gegenüber den Ausgleichsmaschinen haben die Spannungsteiler den Vorteil, dass der Anschaffungspreis ein geringerer ist und die Leerlaufsverluste minimal sind. Sehr gute Dienste leisten die Spannungsteiler, wenn dieselben durch eine Akkumulatorenbatterie unterstützt werden, indem dieselben einmal die Batterie vor zu ungleicher Entladung der Batteriehälften bewahren, sodann aber eine willkommene Reserve bei abgeschalteter Batterie abgeben.

39. **Regulierung der Netzspannung.** Wie schon eingangs bemerkt, ist bei den Parallelschaltungssystemen die Spannung in der Centrale stets um den jeweiligen Spannungsverlust in den Zuleitungen zu den Konsumstellen höher zu halten. Um dieser Bedingung Genüge leisten zu können, ist die Kenntnis der einzelnen Werte der Spannung an den Konsumstellen erforderlich. Dieselbe verschafft man sich, indem von den verschiedenen Speisepunkten des Netzes Prüfdrahtleitungen zur Centrale zurückgeführt werden, die an einer kleinen Prüfdrahtschalttafel endigen, woselbst die erforderlichen Messungen mit Hilfe der Netzvoltmeter vorgenommen werden können. Die Messung der Netzspannung auf die Speisepunkte zu beschränken, ist zulässig, sofern die Verteilungsleitungen stark genug verlegt sind, um ihrerseits keinen höheren Spannungsverlust als höchstens $1^1/_2$—2 % zuzulassen.

Es ist nun ohne weiteres klar, dass bei einer einheitlichen Spannung in der Centrale an den verschiedenen Speisepunkten nur dann die Spannung die gleiche sein kann, wenn alle Speiseleitungen im umgekehrten Verhältnis zu ihrem Widerstand an der Stromlieferung teilnehmen. Diese Bedingung wird im allgemeinen erfüllt sein, wenn in allen Teilen des Netzes sich der Konsum gleichmässig entwickelt und der elektrische Strom in den verschiedenen Teilen des Netzes gleichen Zwecken dient. In diesem einfachsten Falle dürfen sämtliche Prüfdrahtleitungen, die von dem gleichen Pol kommen, in der Centrale parallel geschaltet werden, und kann eine einheitliche Regulierung der Stationsspannung hiernach erfolgen. In dem Masse jedoch, wie in den einzelnen Speiseleitungen durch die ungleiche Stromentnahme im Netz eine Verschiebung in der richtigen Stromverteilung herbeigeführt wird, wird ein Stromausgleich durch die Verteilungsleitungen bewirkt werden müssen, wodurch je nach der Stärke dieser Leitungen grössere oder geringere Spannungsunterschiede im Netz resultieren, die im ungünstigsten Falle bis zum vollen Betrage des Spannungsverlustes in den Speiseleitungen, welcher meistens in den Grenzen zwischen 10 und 20 % gewählt wird, anwachsen können. Will man hier Abhilfe schaffen, so bleibt nichts anderes übrig, als der stärker beanspruchten Speiseleitung in der Centrale eine entsprechend höhere Spannung zuzuführen.

Dass diese Verhältnisse jedoch zu den Ausnahmen gehören, wenn sowohl der Querschnitt der Verteilungsleitungen als auch der der einzelnen Speiseleitungen nicht zu knapp bemessen wird, geht daraus hervor, dass bei den meisten Elektrizitätswerken Deutschlands im allgemeinen nur eine einheitliche Stationsspannung gehalten wird und trotzdem Anlass zu Klagen über erhebliche Spannungsungleichheiten im Netz nicht vorliegt. Dadurch, dass die

1) Vgl. noch ETZ 1897, S. 230, sowie ETZ 1900, S. 387.

Stationsspannung nach dem Mittel aus sämtlichen Einzelspannungen reguliert wird, wird ferner die Abweichung vom Normalwert noch herabgemindert, indem alsdann der schwächer belastete Teil des Netzes etwas höhere als die Normalspannung und der andere Teil eine um weniges geringere Spannung erhält. Der richtige Mittelwert der Einzelspannungen wird vom Netzvoltmeter dann angezeigt, wenn die Widerstände der einzelnen parallel geschalteten Prüfdrahtleitungen einander durch vorgeschaltete Widerstände gleich gemacht worden sind.

Bei einer einheitlichen Spannungsregulierung in der Centrale werden diejenigen Speiseleitungen, welche den Netzbezirk in der Nähe des Werkes mit Strom versorgen, im allgemeinen leichter bis zur höchsten zulässigen Querschnittsbelastung ausgenutzt werden können als die für die entfernteren Bezirke bestimmten, da die letzteren schon bei geringeren Stromstärken den maximalen Spannungsverlust erreichen; eventuell sind sogar in die kurzen Speiseleitungen Vorschaltwiderstände einzubauen, um dieselben vor übermässiger Erwärmung durch den Strom zu schützen, was natürlich mit Energieverlusten verknüpft ist und eventl. besondere Vorkehrungen zur Fortführung der in den Widerständen entwickelten Wärme erfordert. Es können daher unter Umständen nennenswerte Ersparnisse am Leitungsnetz gemacht werden, wenn das Kabelnetz konzentrisch zur Centrale in zwei oder mehrere Bezirke geteilt wird und die Speiseleitungen der einzelnen Bezirke entsprechend der mittleren Entfernung der letzteren während des Hauptbetriebes an verschiedene Sammelschienenspannung gelegt werden, die entweder durch die Akkumulatoren oder durch besondere Zusatzmaschinen oder durch getrenntes Arbeiten der Dynamos erzeugt werden kann. Ein derartiges System stellt naturgemäss an die Schalt- und Reguliereinrichtungen der Centrale sowohl, als auch an die Bedienung ganz erheblich höhere Anforderungen, welche bei der Erwägung der Vor- und Nachteile wohl zu berücksichtigen sind.

Da, wo Akkumulatoren mit Doppelzellenschaltern Verwendung finden und man sich mit nur zwei verschiedenen Stationsspannungen während des Maximums begnügen kann, lässt sich die Aufgabe in einfacher Weise so lösen, dass die Speisekabelgruppe mit geringem Spannungsverlust auf den Entladeschlitten und die andere Gruppe auf den Ladeschlitten geschaltet und hierdurch getrennt reguliert wird. Zur Deckung des Stromkonsums ist dann nur erforderlich je eine entsprechende Anzahl Dynamos auf die Entlade- und Ladeschienen zu schalten.

Zu Zeiten geringen Konsums, in welchen der Spannungsverlust in den Speiseleitungen zu vernachlässigen ist, oder dann, wenn die Spannungsverluste in den verschiedenen Speisekabeln ziemlich gleich sind, können sämtliche Speiseleitungen parallel geschaltet werden und wird die einfache, einheitliche Spannungsregulierung in der Centrale Platz greifen.

Noch einen Schritt weiter in der Erhaltung konstanter Netzspannung bei günstigster Ausnutzung der Speiseleitungen bedeutet das in England und Amerika weit verbreitete System der Umschaltbarkeit jeder einzelnen Speiseleitung auf eine grössere Anzahl in der Spannung abgestufter Sammelschienen. Eine Kabelumschalttafel für 2 × 12 Speiseleitungen und fünf verschiedene Sammelschienenspannungen eines Niederspannungs-Verteilungsnetzes für 2 × 110 Volt zeigt Fig. 58. Die Schalttafel, welche von W. A. Patchell, Chefingenieur der Charing Cross and Strand Electricity Supply Corporation, London, entworfen und von Elliott Bros. ausgeführt ist, enthält ganz oben

für jedes positive und negative Kabel je ein Amperemeter. Darunter sind die registrierenden Instrumente angeordnet und dann folgen die Voltmeter. Die Umschaltbarkeit der Kabel auf verschiedene Sammelschienen ist dadurch ermöglicht, dass jedes einzelne Kabel an eine zugehörige vorn angebrachte vertikale Schiene, ausreichend für eine Stromstärke von 1000 Amp., angeschlossen ist, der gegenüber fünf kurze für Stöpselkontakte eingerichtete und mit den fünf Sammelschienen in Verbindung stehende horizontale Stücke angeordnet sind. Die positiven und negativen Sätze befinden sich übereinander. Die Nullleitungen bleiben von den Umschaltungen ganz unberührt und sind daher nicht mit auf die Schalttafel geführt.

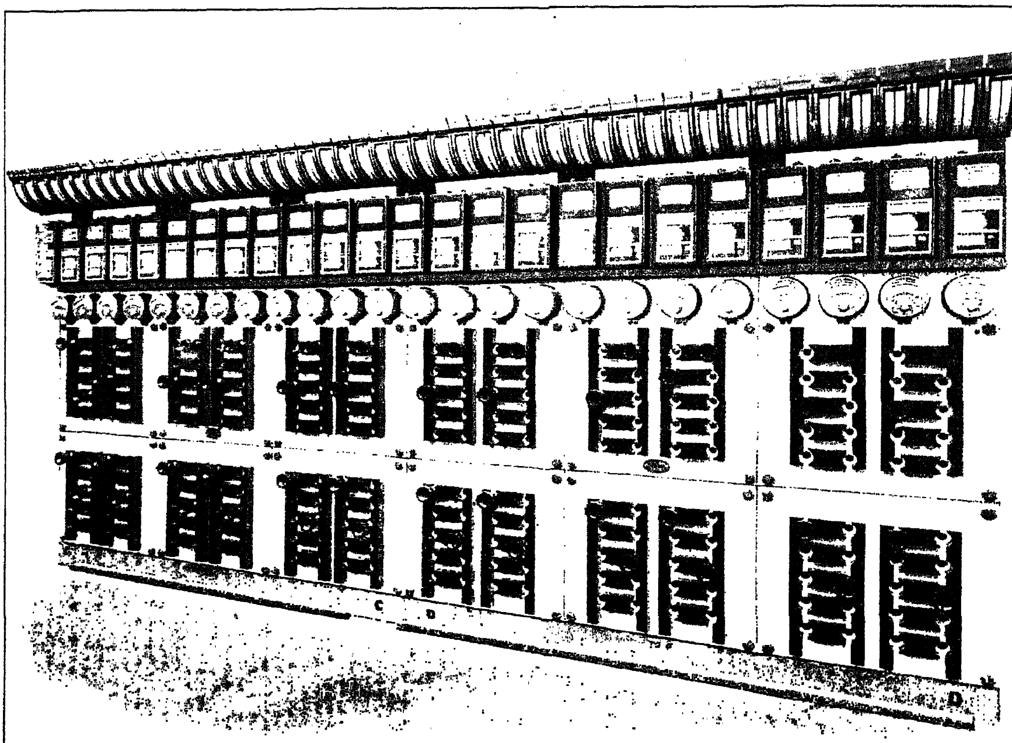


Fig. 58. Kabelumschalttafel für 2 × 12 Speiseleitungen.

Von den hinter der Schalttafel befindlichen fünf Paar Hauptsammelschienen wird ein Paar zum jeweiligen Überschalten der Kabel auf eine andere Sammelschienenspannung benutzt, während auf die übrigen die Dynamos mit verschiedenen Spannungen nach Bedarf geschaltet werden. Im allgemeinen genügen drei verschiedene Spannungen, so dass ein Sammelschienenpaar in Reserve bleibt. Ist die Leistungsfähigkeit der Dynamos erheblich grösser, als die Belastung der einzelnen Sammelschienen beträgt, so können die verschiedenen Spannungen auch mit Hilfe von Zusatzmaschinen erzeugt werden. Soll ein Kabel auf eine andere Spannung umgeschaltet werden, so wird die Umschaltsammelschiene mit Hilfe einer Dynamo oder Zusatzdynamo auf die gleiche Spannung des Kabels gebracht, alsdann wird das Kabel mit dieser Schiene gestöpselt, sodann die Spannung noch etwas

gesteigert, bis von der Umschaltsammelschiene etwa die gleiche Stromstärke abgenommen wird, mit welcher das Kabel belastet war und alsdann die Verbindung des Kabels mit seiner bisherigen Sammelschiene mit Hilfe des Stöpsels unterbrochen. Nun wird die Umschaltsammelschiene auf diejenige Spannung gebracht, auf welche das Kabel geschaltet werden soll, worauf die Parallelschaltung und dann die Entlastung und Abschaltung der Umschaltsammelschiene erfolgt. Auch hier werden zu Zeiten des geringen Konsums alle Kabel gleicher Polarität parallel geschaltet, so dass alsdann nur ein Sammelschienenpaar unter Spannung steht.

Anstatt jeder einzelnen Speiseleitung eine dem Spannungsverlust entsprechende verschieden hohe Spannung zuzuführen, ist die Möglichkeit auch gegeben, bei einheitlicher Stationsspannung durch Einbau eines Regulierwiderstandes in jede Speiseleitung die überschüssige Spannung bei den zu schwach belasteten Speiseleitungen zu vernichten. Dieses System ist jedoch unwirtschaftlich und erfordert sehr viel Platz zur Unterbringung der teueren Widerstände, weshalb dasselbe sich nicht empfiehlt.

Dritter Abschnitt.

Die Projektierung der elektrischen Centralen.

40. Schätzung des Strombedarfes.

Die erste und eine der wichtigsten Aufgaben bei der Projektierung eines Elektrizitätswerkes ist die Ermittelung über das vorliegende Bedürfnis an elektrischer Energie. Je sorgfältiger diese Frage gelöst wird, um so besser kann das Elektrizitätswerk in seinen einzelnen Teilen so gestaltet werden, dass einmal der Konsument in der weitestgehenden Weise zufriedengestellt und andererseits ein rationeller Betrieb schon vom ersten Betriebsjahre an gewährleistet wird. Mit der Lösung der Bedürfnisfrage eng verbunden ist die Preisfestsetzung der elektrischen Energie; denn ein zu hoher Preis verhindert oder verzögert die Befriedigung des Bedürfnisses, während ein zu niedriger Preis die Rentabilität in Frage stellen wird.

Wie jede Schätzung um so ungenauer ausfällt, je weniger Anhaltspunkte gegeben sind, so ist auch die Schätzung der Anschlusswerte, welche im Laufe der Zeit ein Elektrizitätswerk erlangen wird, mit der wünschenswerten Genauigkeit nur auf Grund vielseitiger und eingehender Vergleiche oder Erhebungen zu ermöglichen. Hierbei ist noch eine Unterteilung insofern vorzunehmen, als man zunächst denjenigen Konsum schätzt, welcher in dem ersten oder den ersten beiden Jahren zu erwarten ist, weil aus wirtschaftlichen Gründen die Grösse des Werkes, insbesondere zu Beginn der Entwickelung, möglichst nur in dem Umfange zur Ausführung gebracht werden sollte, dass eine gute Ausnutzung der Betriebsmittel für die nächsten ein bis zwei Jahre sicher ermöglicht wird. Ferner wird das Versorgungsgebiet für den ersten Ausbau wegen der bedeutenden Kosten des Leitungsnetzes zunächst auf denjenigen Teil beschränkt bleiben müssen, in welchem der meiste Konsum zu erwarten ist, so dass die Konsumschätzungen für die erste Betriebsperiode auch noch eine örtliche Beschränkung erfahren.

41. Konsumschätzung durch Umfrage.

Der scheinbar einfachste und sicherste Weg, den Konsum für die ersten Jahre kennen zu lernen, ist die Befragung der Einwohner nach ihrem sofortigen und zukünftigen Bedarf, sei es durch Fragebogen oder durch persönliche Umfrage. Da jedoch das grosse Publikum selten in der Lage sein wird, einen befriedigenden Aufschluss über die Frage, welche von den vorhandenen Licht- und Kraftquellen zweckmässig durch Elektrizität ersetzt werden soll, zu geben, auch selbst bei Neueinrichtungen die Vor- und Nachteile der neuen Energieform meistens noch nicht genügend zu würdigen ver-

steht, um bindende Erklärungen abzugeben, vielmehr in den allermeisten Fällen eine abwartende Stellung jeder Neuerung gegenüber einnimmt und erst zum Entschluss kommt, wenn durch den Konkurrenten gezwungen oder durch die guten Erfahrungen beim Nächsten bestochen, so zeitigt die Konsumschätzung durch Umfrage selten ein befriedigendes Ergebnis. In der Schwerfälligkeit des Publikums liegt auch in erster Linie der Grund, weshalb bei einem rührigen Betriebsleiter, welcher unermüdlich für die nötige Aufklärung des Publikums sorgt und den Konsumenten mit Rat und Tat zur Seite steht, im allgemeinen das Werk viel schneller zum Prosperieren kommt.

Wenngleich die Konsumschätzung durch Umfrage wenig Erfolg verspricht, sollte sie doch zur Anwendung gelangen, da durch dieselbe die erste Fühlung mit den Konsumenten genommen und der erste intensivere Anreiz zum Anschluss an das Werk gegeben wird. Soll auch gleichzeitig ein gewisser Vorteil für die Konsumschätzung damit verknüpft werden, so empfiehlt sich in erster Linie die persönliche Umfrage durch gewandte und erfahrene Beamte vornehmen zu lassen, wobei zweckmässig nicht nur das notiert werden soll, was der Konsument anmeldet, sondern auch das, was überhaupt an Beleuchtung und motorischer Kraft vorhanden ist, sowie dasjenige, was für den späteren Anschluss in Frage kommen könnte.

Dass das Ergebnis dieser Erhebungen nicht nur nach Strassen, sondern auch nach den verschiedenen Zwecken, welchen die Elektrizität dienen soll, zu ordnen und zu sammeln ist, bedarf keiner näheren Erläuterung. Von ausserordentlichem Werte ist es, wenn bei der Verarbeitung des gesammelten Materials eine mit den Verhältnissen des Ortes und seiner Einwohner völlig vertraute Persönlichkeit zu Rate gezogen werden kann.

42. Konsumschätzung auf Grund statistischen Materials.

Eine andere Art der Konsumschätzung, die um so zuverlässigere Werte liefert, je mehr entsprechendes Material vorliegt, ist der Vergleich mit den Ergebnissen bei anderen Elektrizitätswerken. Es würde jedoch verkehrt sein, die Mittelwerte aus sämtlichen Elektrizitätswerken der Rechnung zu Grunde zu legen, da die Verhältnisse je nach der Eigenart des Erwerbs und des Verkehrs sowie des Wohlstandes der Einwohner zu verschiedene sind. Z. B. wird in grossen Städten das Strombedürfnis ein anderes sein als in kleineren Ortschaften, in einer industriereichen Gegend ein anderes als in einem Badeorte u. s. w. Aus diesem Grunde sind nur diejenigen Werke zum Vergleich heranzuziehen, bei welchen möglichst gleiche Verhältnisse in bezug auf Grösse des Ortes, sowie des Erwerbes und der Lebensführung herrschen.

Die wichtigsten Zahlenwerte für die Projektierung eines Elektrizitätswerkes sind diejenigen, welche einen Anhalt für die zu wählende Grösse bezw. Leistungsfähigkeit des Werkes geben, sowie diejenigen, welche den voraussichtlichen Stromabsatz zu schätzen gestatten. Da sich aber die erforderliche Grösse des Werkes nach der maximal gleichzeitig abzugebenden Energie richtet, welche wiederum von der Grösse der Anschlusswerte abhängt, so ist vor allem der auf je 1000 Einwohner entfallende Anschlusswert, sowie der Prozentsatz, wieviel von den Anschlusswerten maximal gleichzeitig benutzt werden, zu ermitteln. Die im Jahre abgesetzte Energie kann entweder ebenfalls auf die Einwohnerzahl bezogen werden, oder es wird zweckmässiger die Benutzungsdauer, d. i. diejenige Anzahl Stunden festgestellt, während welcher die gesamten Anschlusswerte hätten eingeschaltet bleiben müssen, um den erzielten Jahresabsatz zu erhalten, wie dieses in den

Statistiken der Elektrizitätswerke allgemein gebräuchlich ist. Im letzteren Falle sind die anzuschliessenden Kilowatt mit der ermittelten Stundenzahl zu multiplizieren, um den voraussichtlichen Stromabsatz in einem Jahre zu bekommen.

Eine andere Zahl, welche insbesondere Aufschluss über die Dichte des Anschlusses giebt und daher für die Schätzung der Höhe der Kosten des Leitungsnetzes von grosser Bedeutung ist und eventuell auch die Systemwahl beeinflussen kann, ist derjenige Anschlusswert, welcher auf jedes mit Leitungen belegte Meter Häuserfront entfällt.

Die geeignetste Quelle, aus welcher das gewünschte statistische Material geschöpft werden kann, ist die alljährlich von der Vereinigung der Elektrizitätswerke herausgegebene Statistik der Elektrizitätswerke,[1]) zu welcher 1901/02 151 verschiedene Werke ihre Betriebsresultate zur Verfügung gestellt haben. Eine Statistik anderer Art, welche mehr von allgemeinen Gesichtspunkten ausgeht, indem hier der Zweck verfolgt wird, die Verbreitung der Elektrizitätswerke nach Umfang und Leistungsfähigkeit zu veranschaulichen, und welche daher die Statistik der Vereinigung der Elektrizitätswerke in dankenswerter Weise ergänzt, bringt alljährlich die „Elektrotechnische Zeitschrift“. Die Angaben der letzteren bezogen sich im Jahre 1903 auf 939 verschiedene Elektrizitätswerke.

In welcher Weise bei den verschiedenen Werken sowohl der auf je 1000 Einwohner entfallende Anschlusswert, als auch der Prozentsatz der maximal gleichzeitig betriebenen Anschlusswerte und die durchschnittliche Benutzungsdauer jedes angeschlossenen Kilowatt verschieden ausfallen, zeigen die Zahlen der Tabellen IV, V und VI. Dieselben sind der Statistik der Vereinigung der Elektrizitätswerke für das Betriebsjahr 1901/02 bezw. 1902 entnommen, und zwar speziell der Gruppe I, welche die Werke ohne Stromabgabe für Bahnzwecke umfasst.

Tabelle IV.

Auf je 1000 Einwohner entfallender Anschluss.

Einen auf je 1000 Einwohner entfallenden Anschluss von:	a) für Beleuchtung	b) für gewerbliche Zwecke	c) für beide Zwecke gemeinsam
0 bis 5 KW besassen	3 Werke	28 Werke	— Werke
über 5 „ 10 „ „	14 „	15 „	7 „
„ 10 „ 15 „ „	17 „	13 „	10 „
„ 15 „ 20 „ „	14 „	10 „	12 „
„ 20 „ 25 „ „	8 „	7 „	5 „
„ 25 „ 30 „ „	8 „	4 „	5 „
„ 30 „ 40 „ „	8 „	1 Werk	20 „
„ 40 „ 50 „ „	3 „	1 „	5 „
„ 50 „ 60 „ „	4 „	— „	6 „
„ 60 „ 70 „ „	— „	— „	5 „
„ 70 „ 80 „ „	— „	— „	3 „
„ 80 „ 90 „ „	1 Werk	— „	— „
„ 90 „ 100 „ „	— „	— „	— „
„ 100 „ „	— „	1 „	2 „

1) Zu beziehen durch Direktor C. Döpke, Dortmund.

Tabelle V.

Prozentsatz der maximal gleichzeitig benutzten Anschlusswerte.

Ein Prozentsatz von	15	bis	20 %	ergab	sich	bei	1	Werke
über	20	„	25 %	„	„	„	11	Werken
„	25	„	30 %	„	„	„	18	„
„	30	„	35 %	„	„	„	12	„
„	35	„	40 %	„	„	„	7	„
„	40	„	45 %	„	„	„	6	„
„	45	„	50 %	„	„	„	4	„
„	50	„	60 %	„	„	„	3	„
„	60	„	70 %	„	„	„	3	„

Tabelle VI.

Durchschnittliche jährliche Benutzungsdauer jedes angeschlossenen Kilowatt.

Eine Benutzungsdauer:	a) für Beleuchtung	b) für gewerbliche Zwecke	c) für beide Zwecke gemeinsam
unter 100 Std. ergab sich bei	1 Werke	2 Werken	— Werken
über 100 bis 200 Std. ergab sich bei	8 Werken	9 „	6 „
„ 200 „ 300 „ „ „ „	20 „	12 „	10 „
„ 300 „ 400 „ „ „ „	21 „	13 „	24 „
„ 400 „ 500 „ „ „ „	12 „	17 „	17 „
„ 500 „ 600 „ „ „ „	4 „	8 „	4 „
„ 600 „ 700 „ „ „ „	4 „	3 „	6 „
„ 700 „ 800 „ „ „ „	1 Werke	3 „	2 „
„ 800 „ 900 „ „ „ „	2 Werken	2 „	3 „
„ 900 „ 1000 „ „ „ „	1 Werke	1 Werke	1 Werke
„ 1000 Std. „ „ „	1 „	4 Werken	2 Werken

Aus diesen Zahlen ergiebt sich, dass die bei aufgestellten Projekten vielfach anzutreffenden Annahmen von 50 KW Anschluss für je 1000 Einwohner, sowie eine maximal gleichzeitige Benutzung von 50 % der Anschlusswerte und eine jährliche Benutzungsdauer jedes angeschlossenen Kilowatt von 500 Stunden nur von wenigen Werken tatsächlich erreicht werden und daher keinerlei Berechtigung besitzen, als Durchschnittszahlen zu gelten.

Bei Aufstellung der für die Projektierung eines Elektrizitätswerkes massgebenden Zahlenwerte empfiehlt es sich, nicht nur diejenigen Werte zu berücksichtigen, welche bei anderen Werken nach einer grossen Reihe von Jahren erzielt worden sind, sondern es ist vor allem festzustellen, was in den ersten zwei bis höchstens drei Jahren an Konsum zu erwarten ist, damit das Werk nicht über Gebühr auf Jahre hinaus mit unausgenutzten Betriebsmitteln ausgerüstet wird, die naturgemäss durch die erforderliche Verzinsung und Amortisation des entsprechenden Anlagekapitals die Rentabilität sehr ungünstig beeinflussen, woran eine grosse Anzahl bestehender Werke krankt. Da bei allen Werken eine nennenswerte Abnahme der Beanspruchung

in den Sommermonaten auftritt, so sind spätere Erweiterungen der Betriebsmittel, wenn nur einigermassen Rücksicht darauf genommen wird, ohne Störung der Stromlieferung leicht ausführbar.

Ist auf Grund der Erhebungen die erforderliche Leistungsfähigkeit des Werkes sowohl für den Anfang als auch für den späteren Ausbau bestimmt, so ist die zweckmässigste Grösseneinteilung der einzelnen Aggregate vorzunehmen. Der massgebendste Gesichtspunkt hierbei ist die Ermöglichung einer jederzeitigen rationellen Ausnutzung der Betriebsmittel für die verschiedensten Betriebszeiten, d. h. die Grösse der einzelnen Aggregate soll der wechselnden Grösse des Konsums möglichst angepasst werden können. Hierbei ist nicht ausser acht zu lassen, dass, je grösser die Maschineneinheiten sind, um so günstiger der Wirkungsgrad ist, weshalb stets die für die gegebenen Verhältnisse zulässigen grössten Einheiten zu wählen sind.

Eine Beschränkung in der Grösse der Einheiten ist einmal in der eventl. dadurch bedingten Steigerung der Kosten für die erforderliche Reserve, welche auf etwa 20—30 % der gesamten Stationsleistung zu normieren ist, gegeben, und andererseits in der Wirkung, welche die plötzliche und unerwartete Ausserbetriebsetzung eines Aggregates auf den Gesamtbetrieb hat. Ist eine Akkumulatorenbatterie von genügender Leistungsfähigkeit vorhanden, so erledigt sich der Fall in der einfachsten Weise, da die Batterie ohne weiteres den Ausfall sofort decken kann; handelt es sich dagegen um reinen Maschinenbetrieb, so soll nach Möglichkeit wenigstens während des Hauptbetriebes das Aussetzen eines Aggregates keineswegs die gänzliche Unterbrechung der Stromlieferung zur Folge haben.

Eine Grössenabstufung der Maschineneinheiten von mehr als drei ist nicht empfehlenswert und auch nicht erforderlich. Meistens wird die Summe der Leistung der kleineren Einheiten gleich der Leistung der grossen Maschineneinheit gemacht. Ergeben z. B. die Konsumschätzungen, dass das Elektrizitätswerk für den definitiven Ausbau eine Maschinenleistung von 5000 KW erfordert, während die Grösse der Stationsleistung bis zum dritten Jahre mit 1000 KW ausreichend bemessen ist, so können im ersten Jahre zwei Maschinen à 250 KW aufgestellt werden und im zweiten Jahre eine Maschine zu 500 KW, während der Rest in 1000 Kilowatteinheiten zur Aufstellung gelangt.

43. Wahl des Ortes für das Elektrizitätswerk.

Für die Wahl des Ortes eines Elektrizitätswerkes sind folgende Hauptgesichtspunkte massgebend:

1. Grösse des Grundstückes.

Die Grösse des Grundstückes soll gestatten, dass das Werk so erweitert werden kann, um den steigenden Bedürfnissen auf Jahrzehnte hinaus gerecht werden zu können. Dabei wird vorteilhafterweise der anfangs noch nicht für die Zwecke des Werkes benötigte Teil verpachtet oder sonstwie nutzbringend verwertet.

2. Lage zum Konsumgebiet.

Die Lage des Werkes zum Konsumgebiet übt einen grossen Einfluss auf die Kosten des Leitungsnetzes aus und ist unter Umständen bestimmend für die Wahl des Stromsystems. Die Kosten des Leitungsnetzes, welche

einen Hauptanteil an den Gesamtanlagekosten ausmachen, werden sich auf das geringste Mass beschränken, wenn das Werk in den Konsumschwerpunkt verlegt werden kann.

3. Rücksichten auf eine rationelle Betriebsführung.

Die Rücksichten auf eine rationelle Betriebsführung erfordern bei Dampfcentralen die Beschaffung ausreichender Mengen Kesselspeise- und Kondensationswassers und die Möglichkeit der Wiederabführung des letzteren, daher ist die Lage von Dampfcentralen, wenn möglich am Flusslaufe, vorzusehen. Des Ferneren kommt in Betracht eine möglichst billige und zuverlässige Kohlenzufuhr, weshalb, falls der Wasserweg ausgeschlossen und das benötigte Kohlenquantum ein genügend grosses ist, eventl. ein besonderes Anschlussgleis vorzusehen ist. Auch ist für einen hinreichend grossen Kohlenlagerplatz Sorge zu tragen, damit bei unvorhergesehener Unterbrechung der Kohlenzufuhr der Betrieb keine Störung erleidet. Die Grösse des Lagerplatzes wird zweckmässig so gewählt, dass der Bedarf für drei Monate der höchsten Inanspruchnahme des Werkes vom Kohlenlagerplatz gedeckt werden kann.

Bei Gascentralen, welche sich das Kraftgas selbst erzeugen, kommt vorwiegend billige Kohlenzufuhr in Betracht.

4. Rücksichten auf die Nachbarschaft.

Da die moderne Rechtsprechung immer mehr dahin neigt, dem einzelnen einen weitgehenden Schutz gegen Störungen und Belästigungen durch dritte zu gewähren, das mit dem Betrieb eines Elektrizitätswerkes verbundene Maschinengeräusch jedoch nie gänzlich zu vermeiden ist, wozu eventuell noch die Rauch- und Russplage oder die Bildung schädlicher Dünste hinzutritt, so sind alle Einzelheiten einer reiflichen Erwägung zu unterziehen. Hierbei ist allerdings zu bemerken, dass sich in vielen Fällen diese Störungen auf ein erträgliches Mass herabdrücken lassen, wenn von vornherein entsprechende Rücksicht darauf genommen wird; z. B. ist die Geräuschbelästigung durch genügend grosse Entfernung vom Nachbar, also durch frei stehende Gebäude, zu vermeiden, auch lassen sich Rauch, Russ und Dünste durch besondere technische Einrichtungen wesentlich beschränken.

5. Preisfrage.

Der Preis des Grundstückes, welcher naturgemäss möglichst niedrig sein soll, muss sich zum mindesten in denjenigen Grenzen halten, dass durch die Verzinsung des Anlagekapitals die Selbstkosten des Stromes nicht aussergewöhnlich erhöht werden. Hieraus geht hervor, dass Ersparnisse, welche auf anderer Seite durch die günstigere Lage des Werkes erzielt werden, auf den Grundstückspreis anzurechnen sind. Liegt die Wahl zwischen mehreren Grundstücken vor, so empfiehlt es sich für jedes einzelne ausser der Erwägung der im Vorstehenden erörterten Momente eine genaue Kostenvergleichsrechnung für das gesamte Elektrizitätswerk aufzustellen und nur bei sonst gleichen Ergebnissen das billigste Grundstück zu wählen.

44. Systemwahl. Die elektrische Energie lässt sich bekanntlich sowohl in der Form von Gleichstrom als auch von Wechselstrom, sei es ein- oder mehrphasig, für die Energieverteilung benutzen,[1]) auch ist eine Kombination beider Systeme insofern möglich, als der Wechselstrom zunächst nach den Konsumcentren geleitet und hier in Unterstationen eine Umformung in Gleichstrom erfährt, der dann den Konsumenten zugeführt wird.

Bestimmend für die Wahl der einen oder anderen Stromart sind einmal wirtschaftliche Momente, welche beeinflusst werden durch die Höhe der resultierenden Anlagekosten für die Centralstation und das Leitungsnetz, sowie durch die bedingten Energieverluste, und andererseits die Rücksicht auf die mit elektrischem Strom zu versorgenden Objekte, woran sich die Frage der Sicherheit anschliesst. Während die Kosten der Leitungen beeinflusst werden von der Höhe der verwendeten Spannung, der Lage der Erzeugerstation zum Konsumgebiet bezw. deren Entfernung vom Konsumschwerpunkt, ferner von der Ausdehnung des Konsumgebietes und schliesslich der Konsumdichte, d. i. der auf die Längeneinheit der Leitungen entfallende Konsum, richtet sich die Rücksicht auf die Stromverbrauchsobjekte in erster Linie auf die jeweiligen grösseren oder geringeren Vorzüge der Stromart für die in Frage kommenden Verwendungszwecke. So ist z. B. für Bogenlichtbeleuchtung der Gleichstrom vorzuziehen, während für Motorenbetrieb der mehrphasige Wechselstrom wiederum den Vorzug geniesst. Der Gleichstrom lässt sich durch Umwandlung in chemische Energie akkumulieren und gestattet dadurch, neben der Ermöglichung der wirtschaftlicheren Betriebsführung, ein unschätzbares Moment der Betriebssicherheit zu schaffen. Der Wechselstrom wiederum ist infolge der Möglichkeit, eine Transformierung seiner Spannung an den verschiedensten Stellen und in beliebigem Masse mit geringen Verlusten in ruhenden Apparaten vornehmen zu können, vor allem befähigt, Energie auf grosse Entfernung mit geringen Kosten zu übertragen, beherrscht somit den Raum in der vollkommensten Weise.

Es ist daher generell weder dem einen noch dem anderen System der unbedingte Vorzug zu geben, entscheidend allein sind die jeweiligen besonderen Verhältnisse. Da jedoch überall das Moment der Sicherheit eine hervorragende Bedeutung besitzt, so sollte da, wo zwingende Gründe dem nicht entgegenstehen, in erster Linie Gleichstrom in Verbindung mit Akkumulatoren zum Zweck der Momentreserve in Erwägung gezogen werden. Handelt es sich vorwiegend um Stromlieferung für Elektromotoren und gleichzeitig um grössere zu überwindende Entfernungen, so wähle man mehrphasigen Wechselstrom. Bei weitläufig und strichweise verteiltem vorwiegenden Lichtkonsum kommt der einphasige Wechselstrom zunächst in Frage. Sprechen alle Momente im Konsumgebiet selbst für die Wahl von Gleichstrom, und liegt nur die Erzeugerstation zu extrem dazu, so ist ein- oder mehrphasiger Wechselstrom mit Umformerstationen am Platze.

Die Höhe der zu wählenden Gebrauchsspannung wird bestimmt sowohl durch Rücksichten, welche ein wirtschaftlicher Betrieb erfordert, als auch dadurch, welche Spannung für den Betrieb der Stromverbrauchsapparate von grösserem Vorteil ist. Je höher die Gebrauchsspannung gewählt werden kann, um so grössere Ausdehnung kann bei gleichem Kostenaufwand und

1) Vgl. zweiter Abschnitt sowie Bd. V.

gleichen Verlusten das Versorgungsgebiet annehmen, oder um so niedriger stellen sich für ein gegebenes Versorgungsgebiet unter sonst gleichen Verhältnissen die erforderlichen Aufwendungen für das Leitungsnetz.

Die Rücksichten auf die Lebensdauer und die Ökonomie der elektrischen Lampen, sowie auf die Gefahren, welche die Verwendung höherer Spannungen für die damit in Berührung kommenden Personen bedingt, lassen es als untunlich erscheinen, die Gebrauchsspannung für Lampen höher als 250 Volt zu wählen, sowie zuzulassen, dass die effektive Spannung irgend einer Leitung, welche der Berührung durch Konsumenten zugänglich ist, mehr als 250 Volt gegen Erde beträgt. Diese hohe Gebrauchsspannung von 250 Volt sollte jedoch nur gewählt werden, falls die wirtschaftlichen Momente dazu zwingen. Für die Kohlenfadenglühlampe bietet eine niedrigere Spannung von 100 bis 120 Volt nicht unwesentliche Vorteile. Eine Verminderung der Leitungskosten ist zunächst stets durch Übergang vom Zweileiter- zum Dreileitersystem anzustreben und erst wenn damit nicht genügend gewonnen ist, schreite man zu höherer Gebrauchsspannung.

Beim Betrieb elektrischer Strassenbahnen hat eine Spannung von 500 bis 750 Volt am meisten Eingang gefunden, doch sind naturgemäss hier die Gesichtspunkte wesentlich andere, als bei einer Stromlieferung für die verschiedensten Zwecke an jedermann.

Hat sich zur Energieübertragung die Wahl des Wechselstromes als das Vorteilhafteste ergeben, so kann die Höhe der Primärspannung fast lediglich von wirtschaftlichen Erwägungen abhängig gemacht werden, da es der fortschreitenden Technik gelungen ist, selbst Spannungen von mehr als 40 000 Volt noch hinreichend sicher zu beherrschen.

Bezüglich des Spannungsverlustes in den Leitungen darf nicht ausser acht gelassen werden, dass die Konstanterhaltung der Gebrauchsspannung bei Parallelschaltungssystemen mit um so einfacheren Mitteln unter den verschiedensten Verhältnissen möglich ist, je niedriger derselbe bemessen wird, und gehe man auch hiermit nur soweit in die Höhe, als dieses zur Erreichung eines wirtschaftlichen Betriebes erforderlich ist. Als Grenzwert dürfte im allgemeinen ein Spannungsverlust von 20 $^0/_0$ für die Speiseleitungen in Frage kommen, während es in den meisten Fällen möglich sein wird, denselben auf 10 $^0/_0$ zu beschränken.

Eine andere nicht minder wichtige Frage als die Wahl des Stromsystems betrifft die Wahl der günstigsten motorischen Antriebskraft. Benutzbar für Elektrizitätswerke ist Dampf-, Gas- und Wasserkraft. Von der Windkraft ist im allgemeinen wegen der grossen Inkonstanz gänzlich abzusehen. Bei der Wahl der Betriebskraft entscheidet vorwiegend die Frage, mit welcher Betriebskraft kann die benötigte elektrische Energie am billigsten hergestellt werden, wobei selbstverständlich sowohl die reinen Betriebsausgaben, als auch die festen Ausgaben an Amortisation, Kapitalzinsen und Bereitstellung der Betriebsmittel zu berücksichtigen sind. Es ist z. B. der Fall sehr gut möglich, dass ein Werk, welches mit den vollkommensten und allermodernsten Mitteln ausgerüstet ist, und welches gestattet, den Strom mit den denkbar geringsten Verlusten zu erzeugen, auf wesentlich höhere Selbstkosten der erzeugten Energieeinheit kommt, als ein anderes Werk mit sehr primitiven und unvollkommenen Einrichtungen. Der Grund hierfür liegt darin, dass alle Einrichtungen, welche den Wirkungsgrad einer Anlage zu erhöhen gestatten, um so mehr Kapitalaufwand erfordern, je höher die Anforderungen

45. Wahl der Betriebskraft.

gestellt werden. Dieser erhöhte Kapitalaufwand bedingt aber Zinsverluste, welche zunächst aus den durch diese besonderen Einrichtungen erzielten Ersparnissen gedeckt werden müssen. Ist nun die Ausnutzung der Betriebsmittel eine sehr beschränkte, so ist der Fall sehr leicht möglich, dass die erhöhten Aufwendungen an Kapitalzinsen nicht annähernd durch die bei der Energieerzeugung gemachten Ersparnisse gedeckt werden, d. h. also, in solchen Fällen würde durch die Einführung von Verbesserungen zur Erhöhung des Wirkungsgrades der Stromerzeugung ein Geldverlust als Endergebnis resultieren.

In ähnlicher Weise können z. B. unter Umständen auch bei einer Wasserkraft durch die erheblichen Kosten der Wasserbauten sich höhere Selbstkosten der erzeugten Energieeinheit ergeben, als solche bei einer Dampf- oder Gaskraftanlage eintreten würden, trotzdem im letzteren Falle der Energieträger in Form teurer Kohlen beschafft werden muss, während das Wasser unter Umständen abgabenfrei zur Verfügung steht.

Die wichtigsten Gesichtspunkte, welche demnach bei der Projektierung eines Elektrizitätswerkes zu beobachten sind, bestehen darin, die Betriebsausgaben und das Anlagekapital in ein angemessenes Verhältnis zum Stromkonsum zu bringen und eine Reduktion der direkten Betriebskosten durch eine Erhöhung des Wirkungsgrades der Stromerzeugung mit Hilfe vervollkommneter Einrichtungen nur in dem Masse herbeizuführen, als die hieraus resultierenden Ersparnisse die Mehraufwendungen für die neuen Einrichtungen nicht nur unter gewöhnlichen Verhältnissen decken, sondern sogar noch einen Gewinn ergeben. Je grösser der Stromabsatz bezw. die Benutzungsdauer der Betriebsmittel ist, oder je höher sich der Preis der zu ersparenden Betriebsmaterialien stellt, um so leichter werden sich Verbesserungen der Betriebsmittel bezahlt machen, da die neu hinzutretenden Unkosten sich alsdann mehr und mehr verteilen und auf die abgesetzte Stromeinheit bezogen, von immer geringerem Einfluss sind. Die Entscheidung über die zu wählende Betriebskraft[1]) hat demnach erst nach eingehender Würdigung der Konsumschätzungen und möglichst an der Hand detaillierter Vergleichsrechnungen zu erfolgen.

Bei allen derartigen Berechnungen darf nicht ausser acht gelassen werden, dass die Betriebsmittel der Elektrizitätswerke in den allerseltensten Fällen im Mittel mit mehr als 60—75 % ihrer Maximalleistung in Anspruch genommen werden, und ist demzufolge auch der Verbrauch an Betriebsmaterialien unter Zugrundelegung der für diese Belastung ermittelten Werte zu bestimmen und nicht, wie so häufig irrtümlicherweise geschieht, die von den Fabrikanten gegebenen Zahlenwerte für die Vollbelastung in die Rechnung einzuführen. In welcher frappanten Weise durch solche falsche Anwendung sonst richtiger Zahlenwerte die tatsächlichen Verhältnisse verschoben werden, hat neuerdings Professor Lewicki in einer Schrift: „Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit moderner Dampfkraftanlagen im Vergleich mit Sauggenerator-Gaskraftanlagen“[2]) gezeigt. Der Verfasser kommt zu dem Schluss, dass eine moderne Dampfkraftanlage mit Überhitzung des Dampfes unter Verhältnissen, wie sie bei Elektrizitätswerken bestehen, in bezug auf die gesamten Betriebskosten schon von 20 PS aufwärts den Sauggasanlagen

1) Vgl. auch Abschnitt IV.
2) Verlag von J. Springer, Berlin 1904.

überlegen ist. Da wo eine starke und rasch wechselnde Änderung in der Belastung, wie z. B. bei elektrischen Bahnen, zu gewärtigen ist, sind Sauggasanlagen schon an sich weniger geeignet.

Die Erwägungen zur Erreichung einer günstigen Rentabilität der Anlage dürfen jedoch niemals soweit führen, die Betriebssicherheit ausser acht zu lassen, vielmehr sollte die letztere allen zu erfüllenden Bedingungen vorangestellt werden, denn häufige Betriebsstörungen verursachen nicht nur Unkosten, sondern dieselben misskreditieren das ganze Werk und können dadurch unberechenbaren Schaden zur Folge haben.

Die zweckmässigste Betriebskraft wird vielfach durch das Vorhandensein bezw. Angebot aussergewöhnlich billiger Energieträger bestimmt. So wird beim Vorhandensein billiger ausreichender Wasserkräfte naturgemäss eine Turbinenanlage zu wählen sein, befinden sich in der Nähe des Werkes Steinkohlen- oder Braunkohlenwerke, so wird die Kraftstation zweckmässig hierauf zuzuschneiden sein, stehen Abfallprodukte anderer Betriebe, wie z. B. Gichtgas, Masut, Koks u. s. w., dauernd und in hinreichender Menge zu annehmbaren Preisen zur Verfügung, so wird man die Verwertung derselben ernstlich ins Auge zu fassen haben.

Nicht unwichtig für die Entschliessung bei der Wahl der Betriebskraft ist es, einen Überblick darüber zu gewinnen, in welcher mehr oder weniger vollkommenen Weise die Ausnutzung der Wärme bei denjenigen Antriebsmaschinen erfolgt, welche auf Verwertung der durch den Verbrennungsprozess frei werdenden Wärme basieren, welche also nach Umwandlung der chemischen Energie der Brennstoffe und der Luft in Wärmeenergie aus der letzteren mechanische Energie gewinnen.

Betrachten wir zunächst die Dampfmaschinen ohne überhitzten Dampf, so wird bei den Kleindampfmaschinen nur eine Ausnutzung der bei der Verbrennung der Kohle unter dem Kessel frei werdenden Wärme von 3 bis 4 % erzielt. Bei mittleren Grössen wird schon etwa 10 % der Brennstoffwärme als Nutzarbeit wieder gewonnen und die grössten Dampfmaschinen verwandeln etwa 13 — 15 % in Nutzarbeit. Welche ausserordentlich grosse Bedeutung der Überhitzung des Dampfes zukommt, geht daraus hervor, dass nach Professor Lewicki bei einer mit überhitztem Dampf arbeitenden Lokomobile von nur 40 PS bereits eine Brennstoffausnutzung von 15·2 % erreicht worden ist.

Bei Sauggasanlagen findet sich unter Verwendung von Anthracit etwa 80 % der in der Generatorkohle enthaltenen Verbrennungswärme in dem erzeugten Gase wieder und hiervon werden im Gasmotor etwa 30 — 32 % nutzbar gemacht, so dass eine gesamte Brennstoffausnutzung von ungefähr 25 % resultiert.

Dieser Wert variiert naturgemäss ebenfalls mit der Grösse der Motoren.

Es ist noch zu berücksichtigen, dass Anthracit um etwa 50 % teurer ist als Steinkohle und die Wärmeausnutzung bei Sauggasanlagen nicht nur mit der Belastung rascher als bei Dampfkraft abnimmt, sondern sich auch mit dem Alter der Anlage wegen der unvermeidlichen Abnutzung aller Teile ungünstiger stellt. Bei Verwendung von Koks erreicht die Wärmeausnutzung einen etwas geringeren Wert als bei Anthracit.

Die Sauggasanlagen sind auf das teure Brennmaterial angewiesen, weil bei gewöhnlichen Steinkohlen nicht nur die Schlackenbildung im Generator zu Unzuträglichkeiten führt, sondern auch namentlich die unvermeidliche

Entwickelung des Teers eine solche Verschmutzung der Leitungen und des Motors zur Folge haben würde, dass der Betrieb nur kurze Zeit aufrecht zu erhalten wäre.

Neuerdings ist man ernstlich bemüht die entweichenden Teerdämpfe dadurch unschädlich zu machen, dass man deren Zersetzung bewirkt, indem die Dämpfe durch eine glühende Schicht des Generators geleitet werden. Sollten diese Versuche ein praktisch brauchbares Resultat zeitigen, so wäre dieses von der weitesttragenden Bedeutung.

Eine noch günstigere Wärmeausnutzung als solche, welche die Sauggasanlagen aufweisen, wird bei den Diesel-Motoren erzielt, die bis auf 35 % kommen. Da dieselben jedoch flüssige Brennstoffe, wie Rohpetroleum, Paraffinöl u. s. w. benutzen, solche jedoch im Preise sehr schwanken, so wird die Entscheidung, ob diese Gattung von Motoren am Platze ist, vorwiegend von dem Preise des Öles abhängen.

In bezug auf Raumbedarf, Dauerhaftigkeit und Brennstoffverbrauch bei verminderter Belastung geben dieselben sehr befriedigende Resultate.

Einen sehr instruktiven Überblick über den Verlauf der Wärmeausnutzung bei einer Sauggasanlage giebt das Wärmediagramm Fig. 59, bei welchem eine weitere Ausnutzung der Wärme durch Zufügung einer Abwärmekraftmaschine vorgesehen ist. Entsprechend den in der Abbildung oberhalb dargestellten einzelnen Teilen der Anlage befindet sich darunter die Darstellung der prozentualen Verluste, sowie der gewonnenen mechanischen Arbeit. An Verlusten im Generator ergeben sich durch Asche 1 %, durch Strahlung 4 %, durch Kohlensäure 12 %, durch Wasserverdampfung bezw. Abkühlung der Gase 16 %, wovon 8 % wieder gewonnen werden. Hieran schliessen sich die Verluste im Motor mit 8 % durch Strahlung und 5 % durch die Abgase an und wenn im Motor 22 % in mechanische Arbeit verwandelt werden, verbleibt ein restlicher Verlust von 40 %, der normalerweise durch das Kühlwasser abgeführt wird. Durch die Abwärmekraftmaschine können hiervon 7 % wieder nutzbar gemacht werden, also relativ zur Grösse der im Gasmotor umgesetzten Wärmeenergie sehr viel.

Unterhalb dieses Wärmediagrammes ist dann noch in derselben Reihenfolge das Temperaturgefälle graphisch aufgetragen.

Zur Beurteilung der wirtschaftlichen Bedeutung ist aber nicht die Wärmeausnutzung allein massgebend, sondern, wie im Vorhergehenden schon bemerkt, sind die gesamten Kosten, und zwar nicht nur für Vollbelastung, in Rücksicht zu ziehen. Hierzu gehören die Kosten für Brennmaterial, Bedienung, Putz- und Schmiermaterial, Wasser, sowie Instandhaltung, zu denen sich noch die Aufwendungen für Verzinsung und Amortisation des Anlagekapitals gesellen. Ausserdem sind von grosser Wichtigkeit Einfachheit der Anlage und der Betriebsführung, Anpassungsfähigkeit an die Eigenheiten des Betriebes und vor allem grösstmögliche Betriebssicherheit.

46. Rentabilitätsberechnung. Durch die Rentabilitätsberechnung soll rechnerisch nachgewiesen werden, inwiefern das geplante Unternehmen voraussichtlich sich rentieren wird, weshalb dieselbe auf einer detaillierten Gegenüberstellung sämtlicher zu erwartenden Einnahmen und Ausgaben und Ermittelung des etwaigen Gewinnes oder Verlustes beruht.

Die Einnahmen eines Elektrizitätswerkes werden sich ausschliesslich oder doch vorwiegend aus der abgesetzten elektrischen Energie ergeben, und ist es daher Vorbedingung, für die Aufstellung einer Rentabilitätsberechnung

die Menge der voraussichtlich abzusetzenden Energie zu ermitteln, unter gleichzeitiger Festsetzung des Verkaufspreises für dieselbe. Eine Schätzung des Stromabsatzes lässt sich naturgemäss nur durch entsprechenden Vergleich mit anderen Werken, die unter gleichen Verhältnissen arbeiten, vornehmen, und gilt hierfür das bereits unter „Konsumschätzung“ Gesagte.[1])

Einen ganz hervorragenden Einfluss auf den Stromabsatz sowohl als auch auf die Rentabilität des Unternehmens übt die Höhe des Verkaufspreises aus, für welchen der Regel nach ein besonderer Tarif aufgestellt wird. Ohne Frage wird die abzusetzende Energiemenge um so grösser ausfallen, und die Befriedigung des überhaupt vorhandenen Energiebedürfnisses um so mehr dem Elektrizitätswerk zufallen, je geringer der Verkaufspreis ist.

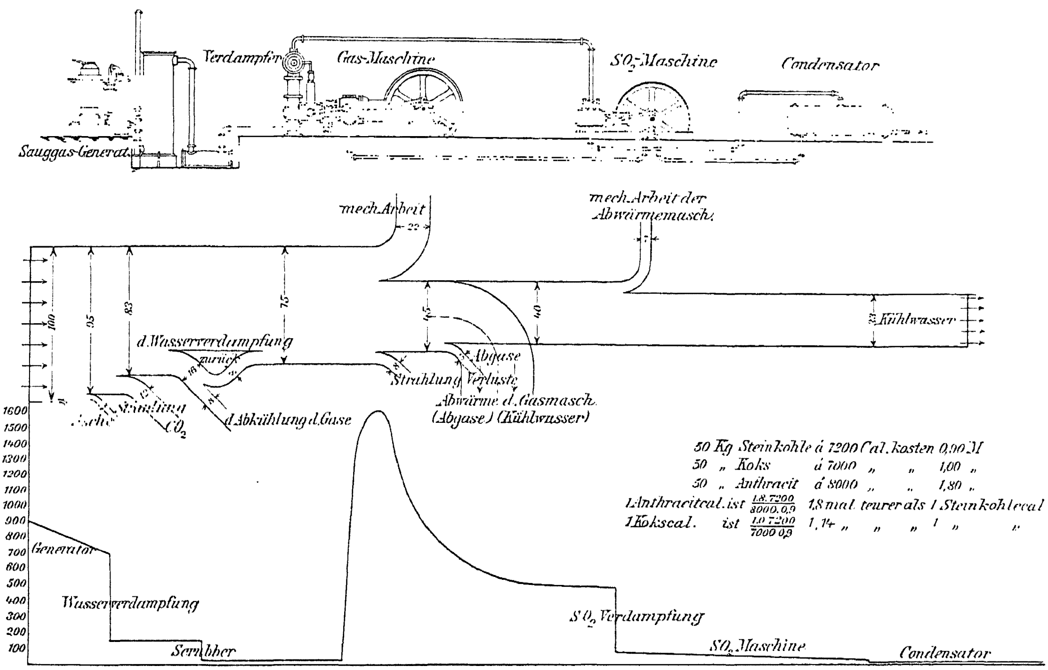


Fig. 59.

Da jedoch normalerweise jedes Unternehmen, gleichgültig, ob es von einer Ortsgemeinde oder von privater Seite betrieben wird, einen gewissen Gewinn abwerfen soll, so bilden die Selbstkosten der erzeugten Energie die Grenze für die geringste Bemessung des Verkaufspreises.

Im Falle demnach das Elektrizitätswerk in der Lage wäre, den Verkauf des elektrischen Stromes auf der Basis der Selbstkosten unter Aufschlag eines festen Gewinnes zu bewirken, wäre auch die Rentabilität des Unternehmens gesichert und erübrigte sich jede weitere Rentabilitätsberechnung. Da jedoch die Selbstkosten von sehr vielen Faktoren beeinflusst werden, und der Verkaufspreis sich bei diesem Rechnungsmodus erst nach dem Geschäftsabschluss, also meistens jährlich genau ermitteln lässt, so würde der Konsument die ganze Höhe seiner Verpflichtung nicht nur erst zu diesem

1) Siehe S. 103.

Zeitpunkte erfahren, sondern er hätte auch mit unbekannten Momenten, wie namentlich die Inanspruchnahme des Werkes durch die anderen Konsumenten, zu rechnen, worauf sich gewissenhafte Geschäftsleute äusserst ungern einlassen werden.

Annehmbarer und günstiger für den einzelnen Abnehmer wird sich der Verrechnungsmodus auf der Basis der Selbstkosten mit angemessenem Gewinnaufschlage schon gestalten, wenn für jeden einzelnen Konsumenten eine getrennte Selbstkostenberechnung des bezogenen Stromes in der Weise vorgenommen wird, dass jeder Konsument als Teilhaber vom Werk entsprechend der von ihm bewirkten höchsten Inanspruchnahme der Betriebsmittel angesehen und demzufolge auch nur mit den aus seinem Anteil am Werk resultierenden Unkosten belastet wird, da alsdann jeder einzelne Abnehmer in der Lage ist, durch grössere oder geringere Ausnutzung seines Anteils am Werk bestimmend auf den von ihm zu bezahlenden Strompreis einzuwirken.

Nachdem man klar erkannt hat, dass dieser letztere Verrechnungsmodus nicht nur dem Elektrizitätswerk eine sichere Gewähr für die Rentabilität bietet, sondern auch den Konsumenten in den weitaus meisten Fällen einen billigeren Strombezug ermöglicht, als durch Selbsterzeugung zu erreichen wäre und als es bei einem einheitlichen festen Strompreis im allgemeinen der Fall sein würde, richtete sich das Bestreben der Elektrizitätswerks-Verwaltungen darauf, auf dieser Grundlage einen Tarif zu finden, welcher bei grösstmöglicher Einfachheit auch den berechtigten Wünschen der Stromabnehmer Rechnung trägt.

Bevor wir auf die Grundlage solcher Tarife näher eingehen, ist es erforderlich, die verschiedenen Faktoren, von denen die Selbstkosten der erzeugten Energie abhängen, zu erörtern. Zunächst bedingen die in einem Elektrizitätswerk investierten erheblichen Kapitalien die Aufbringung der Verzinsung des Anlagekapitals, gleichgültig, ob das Werk ununterbrochen oder nur täglich wenige Stunden Strom zu liefern hat. Ferner sind die Betriebsmittel einer gewissen Abnutzung bezw. Entwertung ausgesetzt, welcher durch Bereitstellung einer entsprechenden Amortisationsquote Rechnung zu tragen ist. Auch diese Unkosten werden von der tatsächlichen Leistung des Werkes nur wenig beeinflusst. Weitere Kosten entstehen für Personal und Betriebsmaterialien dadurch, dass das Elektrizitätswerk auch zu Zeiten, in denen kein Strom entnommen wird, für die jederzeitige Stromlieferung bereit stehen muss. Diese drei Arten der Unkosten werden als feste bezeichnet, weil dieselben sich nur nach der Grösse der vorhandenen Einrichtungen richten und unabhängig von der Intensität der Inanspruchnahme des Werkes sind.

Ausser diesen festen Kosten erwachsen dem Werke Ausgaben an Gehältern, Löhnen und Betriebsmaterialien, deren Höhe sich je nach der Menge des erzeugten Stromes richtet, weshalb man diese Kosten auch als reine Betriebsunkosten oder als variable Kosten bezeichnet. Diese variablen Unkosten sind für ein gegebenes Werk nahezu proportional der erzeugten Strommenge und werden daher zweckmässig auf die Stromeinheit bezogen, wodurch sich ein konstanter Wert ergiebt. Es ist nun ohne weiteres einleuchtend, dass der auf die abgesetzte Energieeinheit entfallende Anteil an den festen Unkosten um so geringer ausfällt, je grösser die bei gleicher Kapazität des Werkes abgesetzte Strommenge ist, d. h. also, je längere Zeit die tatsächliche Stromlieferung erfolgt, bezw. je günstiger der Ausnutzungs-

faktor des Werkes ist. Hierbei ist nicht ausser acht zu lassen, dass die Ausnutzung des Werkes auch erhöht wird, wenn der Strombedarf der einzelnen Gruppen von Konsumenten zeitlich aufeinander folgt, wie z. B. Arbeitsstätten mit vorwiegendem Strombezug am Tage und Vergnügungslokale mit vorwiegendem Strombezug abends und nachts, ferner Kühlanlagen mit vorwiegendem Strombedarf im Sommer und das Gros des Lichtbetriebes sowie Heizungsanlagen mit ihrem vorwiegenden Strombedarf im Winter u. s. w.

Soll die Verteilung der festen Kosten auf die einzelnen Konsumenten in der Weise vorgenommen werden, dass jeder Konsument mit demjenigen Anteil an den festen Unkosten belastet wird, welcher der von ihm bewirkten Inanspruchnahme des Werkes entspricht, zu welchem Betrage dann noch ausser dem Gewinnaufschlag der der Menge des bezogenen Stromes entsprechende Anteil an den reinen Betriebsausgaben hinzutritt, so kann folgendermassen verfahren werden:

Zu den festen Gesamtunkosten wird der Gewinnaufschlag von $a\,^0/_0$ des investierten Kapitals addiert und dieser Betrag durch die Summe der gleichzeitigen Maxima in Kilowatt bei den einzelnen Konsumenten dividiert. Nennen wir die so erhaltene Zahl b, so hat zunächst ein jeder Abnehmer als Anteil an den festen Unkosten so viel mal b Mark zu entrichten, als sein Strommaximum an Kilowatt betrug. Waren ferner vom Elektrizitätswerk insgesamt K Kilowattstunden an die Konsumenten abgesetzt, welche C Mark an Betriebsunkosten verursachten, so stellen sich die reinen Erzeugungskosten jeder Kilowattstunde auf $\frac{C}{K}$ Mark. Nennen wir diesen Einheitspreis c, so stellt sich der gesamte Rechnungsbetrag des einzelnen Konsumenten auf: Strommaximum $\times\, b +$ verbrauchte Kilowattstunden $\times\, c$ Mark.

Dieser Rechnungsmodus, bei welchem für jeden Konsumenten ein Elektrizitätszähler sowie ein Höchstverbrauchsmesser vorhanden sein muss, bedingt, dass der Anteil an den festen Kosten erst nach Erreichung des Höchstverbrauches, welcher bei den meisten Konsumenten im Dezember eintritt, ausgewertet werden kann. Da aber der Konsument berechtigt ist zu verlangen, dass die Höhe seiner Monatsrechnungen in einem angemessenen Verhältnis zu seinem Monatsstromverbrauch steht, so sind verschiedene Lösungen gesucht, um eine zweckentsprechende Verteilung der vom Höchstverbrauch abhängigen Kosten auf die einzelnen Monatsrechnungen zu bewirken, von denen hier nur noch die folgende behandelt werden möge.

Ist die geringste noch als zulässig angesehene Benutzungsdauer der Stromverbraucher bezogen auf das Strommaximum der Konsumenten, von der an Vergünstigungen erst eintreten sollen, z. B. 200 Stunden im Jahre, so wird der Anteil an den festen Kosten in den ersten 200 Benutzungsstunden eingebracht sein, sofern die von dem einzelnen Konsumenten bezogene Energie so lange mit $\frac{b}{200} + c$ Mark in Rechnung gestellt wird, bis die Anzahl der bezogenen Kilowattstunden, dividiert durch das Strommaximum des Konsumenten die Zahl 200 ergiebt. Alle nach dieser Zeit bezogene Energie wird alsdann nur noch mit c Mark für die Kilowattstunde berechnet. Durch entsprechende verschiedene Normierung von b, c und vom Minimum der Benutzungsstunden für die einzelnen Monate lässt sich diese Art der Verrechnung auch auf das erreichte Strommaximum des einzelnen Monats beziehen, wodurch naturgemäss jede Nachberechnung ausgeschlossen ist, welche

sonst aus dem Unterschiede des angenommenen mit dem tatsächlich erreichten Jahres-Strommaximum eintreten könnte.

Eine andere Art, auf welcher dem Konsumenten die bezogene elektrische Energie in rationeller Weise auf der Basis der Selbstkosten berechnet werden kann, beruht auf folgender Überlegung. Bekanntlich ist die Grösse des Werkes bezw. die Leistungsfähigkeit der Betriebsmittel abhängig zu machen von der höchsten Jahresinanspruchnahme. Ferner arbeitet das Werk um so rationeller, je länger dasselbe ausgenutzt wird, und findet die höchste Ausnutzung statt, wenn sämtliche Betriebsmittel, mit Ausnahme der erforderlichen Reserven, ununterbrochen während des ganzen Jahres voll belastet sind. Da nun die festen Ausgaben von der Grösse des Werkes abhängen, so erscheint es auch gerechtfertigt, die festen Unkosten im wesentlichen so auf die einzelnen Abnehmer zu verteilen, wie dieselben das Werk während der Dauer des Stationsmaximums in Anspruch nehmen, und allen denjenigen Abnehmern besondere Vorteile einzuräumen, welche durch einen Strombezug ausserhalb der Zeit des Stationsmaximums für die Erreichung eines günstigen Ausnutzungsfaktors beitragen. Erfahrungsgemäss findet die höchste Inanspruchnahme der Elektrizitätswerke in den Wintermonaten, in der Zeit vom Eintritt der Dunkelheit bis etwa 7 oder 8 Uhr abends statt, in welcher Zeit der Stromkonsum für Licht und Kraft zusammenfällt. Es sind daher auch die festen Unkosten zum grössten Teil auf diejenigen Abnehmer zu verteilen, welche das Werk während dieser Zeit in Anspruch nehmen, und zwar proportional der Höhe der Inanspruchnahme.

Nennen wir die um den Gewinnaufschlag von $a\,^0/_0$ des investierten Kapitals erhöhten festen Unkosten A und das um den Leitungsverlust bis zu den Konsumenten verminderte Stationsmaximum M, so entfällt an festen Unkosten auf jedes während des Stationsmaximum vom Konsumenten benötigte Kilowatt der Betrag von $\frac{A}{M}$ Mark. Ist die Dauer der höchsten Inanspruchnahme des Werkes in den Wintermonaten im Durchschnitt n Stunden pro Tag, so soll nach unseren Ausführungen jede während dieser Zeit bezogene Energie pro Kilowattstunde mit $\frac{A}{M \cdot n}$ Mark in Rechnung gestellt werden, um die festen Unkosten zu decken. Hierzu treten noch die auf die Energieeinheit entfallenden reinen Erzeugungskosten, welche wir wieder mit c bezeichnen wollen. Jeder Konsument hat demnach während der Dauer des Stationsmaximums für jede Kilowattstunde $\frac{A}{M \cdot n} + c$ Mark zu bezahlen, während die Energieeinheit in der übrigen Zeit mit c Mark in Rechnung zu stellen ist. Ein solcher Tarif stellt einen Doppeltarif oder Zeittarif dar. Derselbe erfordert die periodische, durch ein Uhrwerk mit einstellbarer Tageszeit bewirkte Ein- oder Umschaltung eines Elektrizitätszählers, welcher unter der Bezeichnung Doppeltarifzähler namentlich in den letzten Jahren eine weite Verbreitung gefunden hat.

Ausser diesen modernen Tarifen, bei welchen streng genommen ein Unterschied in der Verwendungsart des Stromes, z. B. ob für Licht- oder Krafterzeugung, nicht zu machen ist, giebt es Tarife, welche für Licht- und Kraftzwecke verschiedene Grundpreise vorsehen, auf welche je nach der Menge des bezogenen Stromes oder je nach der Benutzungsdauer oder beides kombiniert ein entsprechender Rabatt gewährt wird. Bei der Rentabilitätsberechnung ist selbstverständlich der Nettopreis in Ansatz zu bringen, dessen

Höhe wiederum nach den Ergebnissen von Elektrizitätswerken mit gleichartigen Verhältnissen zu schätzen ist.

Der übliche Preisunterschied zwischen Strom für Beleuchtungszwecke und für motorische Kraft ist dann gerechtfertigt, wenn der Durchschnitt des Kraftkonsums während des ganzen Jahres ein gleichmässiger und langdauernder ist. Die auftretenden Unterschiede in der Benutzungsdauer und in der Menge des bezogenen Stromes lassen sich alsdann in hinreichender Weise durch eine angemessene Rabattskala bewerten.

Ebenso ist ein einheitlicher Grundpreis für Strom zu Beleuchtungszwecken um so mehr gerechtfertigt, je weniger Abweichungen vom Durchschnitt vorkommen, namentlich je mehr Übereinstimmung im Lichtbedürfnis bei den Grosskonsumenten vorherrscht. Auch hier finden die verschiedenen Verhältnisse durch eine angemessene Rabattskala Berücksichtigung, die in erster Linie den Grosskonsumenten, welche dem Unternehmen den festen Halt geben, Rechnung zu tragen hat.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass ein Tarif mit festem Grundpreise den im Vorhergehenden beschriebenen Tarifen, bei welchen sich der Verkaufspreis der Energie den Selbstkosten anschmiegt, dadurch überlegen ist, dass bei ersterem nur ein einfacher Elektrizitätszähler erforderlich ist, während die letzteren Tarife mehr oder weniger Hilfsinstrumente benötigen, welche nicht nur Geld in der Anschaffung, sondern auch in der Wartung und Unterhaltung kosten und ausserdem eine neue Quelle von Störungen und Differenzen mit den Konsumenten darstellen. Aus diesem Grunde ist daher reiflich zu überlegen, ob die zu erwartenden Verhältnisse bei dem neuen Werk auch so verschiedenartige sind, dass sich die Einführung eines auf den Selbstkosten basierenden, modernen Tarifes lohnt, welcher unzweifelhaft anschmiegungsfähiger und gerechter ist und in den meisten Fällen auch dem Konsumenten und dem Werk grössere Vorteile bringt, zu welchen für das Werk nicht zum mindesten die gesicherte Rentabilität gehört, sofern die zu verrechnenden Preise richtig normiert sind.

Einen noch grösseren Schritt ins Ungewisse stellt ein Tarif mit Pauschalpreisen dar. Der Vorzug der Pauschalpreise besteht darin, dass einmal die Zähler in Fortfall kommen und damit die Ausgaben für Bedienung und Unterhaltung, sowie Verzinsung und Amortisation derselben. Ferner kann das Werk mit festen Einnahmen rechnen; leider aber nicht gleichzeitig mit festen Ausgaben. Da die Benutzungsdauer der installierten Stromverbrauchsapparate gänzlich unkontrollierbar ist, so ist auch die richtige Bemessung des Pauschalpreises unmöglich und daher ein solches Tarifsystem im allgemeinen zu verwerfen. Nur da, wo die Kosten für Bedienung der Zähler im Vergleich zu den Stromeinnahmen sehr ins Gewicht fallen, wie z. B. bei Konsumenten mit nur 1 oder 2 Lampen in entfernteren Gegenden, wie solches bei Überlandcentralen häufiger vorkommen kann, sollte nach Pauschale verrechnet werden. Je billiger die Betriebsmaterialien sind, also in erster Linie bei Wasserkraftanlagen, um so mehr ist es zulässig, den Pauschaltarif auch auf grössere Anschlüsse auszudehnen. Man findet daher auch, namentlich in der Schweiz, solche Tarife weit verbreitet, worüber die von Herrn Professor Wyssling bearbeitete Veröffentlichung „Tarife der Schweizer Elektrizitätswerke“ [1]) eingehenden und interessanten Aufschluss giebt.

1) Vgl. Schweizerische Elektrotechnische Zeitschrift 1905, Heft 1.

Sind sämtliche Posten der Einnahmen und Ausgaben festgestellt, so wird eine zweckmässige Gegenüberstellung vorgenommen und der Nettoüberschuss für jedes einzelne Jahr getrennt ausgeworfen. Ergiebt derselbe keine angemessene Verzinsung des Anlagekapitals, so sind durch entsprechende Änderungen des Projektes die Verhältnisse günstiger zu gestalten. Zu diesen Mitteln gehört ausser der technischen Anordnung auch die Modifikation des Strompreises.

47. Soll die Gemeinde oder ein Unternehmer das Elektrizitätswerk erbauen und betreiben?

Handelt es sich für eine Gemeinde darum, dem Bedürfnis nach elektrischer Energie gerecht zu werden, so kann dieses entweder dadurch erfolgen, dass die Gemeinde das Elektrizitätswerk für eigene Rechnung erbaut und selbst betreibt oder die Befriedigung des Strombedürfnisses gegen bestimmte Abgaben einem Unternehmer überträgt.

Die günstigen Erfahrungen, welche mit den Gasanstalten fast allerorts gemacht worden sind, lassen bei den meisten Gemeinden den Wunsch gerechtfertigt erscheinen, auch das neu zu errichtende Elektrizitätswerk in eigene Regie zu übernehmen, um in den Genuss des ganzen Gewinnes zu gelangen, insbesondere dann, wenn das vorhandene Gaswerk der Gemeinde gehört, da vielerorts die Furcht besteht, das neue Konkurrenzunternehmen könnte dem vorhandenen Gaswerk grossen Abbruch tun und so eine wichtige Einnahmequelle der Gemeinde gefährden.

Dieser letztere Einwand ist jedoch durch die Tatsachen widerlegt, denn überall hat sich gezeigt, dass die Gasanstalten im ungünstigsten Falle nur für die erste kurze Zeit nach Betriebseröffnung des Elektrizitätswerkes einen geringen Ausfall an Einnahmen erlitten haben, der jedoch bald durch eine allgemeine Steigerung des Lichtbedürfnisses wieder eingebracht werden konnte.

Die massgebenden Gesichtspunkte für Entscheidung der Frage, ob das Werk in eigener Regie betrieben werden soll, oder einem Unternehmer zu überlassen ist, sind vorwiegend finanzieller Natur. Im allgemeinen ist die Annahme wohl gerechtfertigt, dass bei eigenem Regiebetrieb das Elektrizitätswerk im allergünstigsten Falle im Laufe der Zeit eine gleiche Verzinsung des Anlagekapitals abwirft wie die vorhandene Gasanstalt. Sollte es demnach möglich sein, einen Unternehmer zu finden, welcher eine solche Verzinsung garantiert, so ist die Gemeinde des nicht unbeträchtlichen Risikos enthoben, indem dieselbe keine Gefahr laufen kann, eine Einbusse am Gewinn zu erleiden. Die übrigen Gründe, welche noch für eigenen Betrieb sprechen und in erster Linie die grössere Bewegungsfreiheit bei allen das Elektrizitätswerk betreffende Fragen umfassen, können unschwer durch besondere Bedingungen bei der Konzessionierung Berücksichtigung finden.

Der Hauptgrund, welcher dafür spricht, den Betrieb des Elektrizitätswerkes, wenn auch nur für eine beschränkte Zeit, einem Unternehmer zu übertragen, liegt darin, dass der letztere im allgemeinen eine wesentlich grössere Rührigkeit bei der Herbeischaffung des zum Prosperieren des Werkes notwendigen Stromkonsums entfalten kann, als dieses bei einer Gemeindeverwaltung möglich und tunlich erscheint. In der schnellstmöglichen Ausnutzung der Betriebsmittel ist aber die einzige Gewähr gegeben, grössere Verluste zu vermeiden, da naturgemäss die selbst bei bescheidenstem Umfange des ersten Ausbaues bedingten bedeutenden investierten Kapitalien verzinst werden müssen, unabhängig davon, ob ein Stromabsatz stattfindet oder nicht.

Ergiebt es sich, dass für eine Gemeinde von Anfang an der eigene Betrieb des Elektrizitätswerkes das Vorteilhafteste ist, so wird im allgemeinen auch wohl die Projektierung und der Bau des Werkes durch die Gemeinde bewirkt. Die Aufstellung und Prüfung der Projekte, sowie die Bauleitung wird in diesem Falle zweckmässig entweder, wie dieses namentlich in England allgemein üblich ist, einem Sachverständigen (konsultierenden Ingenieur) übertragen, oder aber der spätere Betriebsleiter übernimmt diese Arbeiten in seiner Eigenschaft als Gemeindebeamter.

Werden nicht sämtliche Lieferungen einer einzigen Firma übertragen, welche dann auch für das richtige Ineinandergreifen aller Teile verantwortlich gemacht werden kann, sondern sollen die Lieferungen unter verschiedene Unternehmer verteilt werden, so ist erhöhte Aufmerksamkeit darauf zu richten, dass nicht nur kein Glied der Kette fehlt, sondern dass auch dort, wo der Gegenstand der einen Lieferung an den der anderen anschliesst, eine einwandsfreie Verbindung und geordneter Betrieb beider ermöglicht wird. Sind z. B. bei einer Wechselstromcentrale die Dampfmaschinen der einen Firma und die Dynamos einer anderen Firma übertragen, so kann sehr wohl der Fall eintreten, dass ein einwandsfreies Parallelarbeiten mehrerer solcher Maschinen nicht möglich ist, ohne dass notwendigerweise die einzelnen Lieferungen an sich fehlerhaft zu sein brauchen. Solche Fälle lassen sich nur vermeiden, wenn ein jeder Lieferant die von anderer Seite zu erfüllenden besonderen Bedingungen, welche zu einem einwandsfreien Betrieb erforderlich sind, rechtzeitig genau angiebt, damit nachträgliche unerquickliche und zeitraubende Auseinandersetzungen sowie Verluste nach Möglichkeit vermieden werden.

Eine vielfach beliebte Art, dem Strombedürfnis der Einwohner gerecht zu werden, ohne dass die Gemeinde ein Risiko trägt, besteht darin, dass die Gemeinde den Bau eines Elektrizitätswerkes einer einzigen der submittierenden Firmen auf Grund eines Kostenanschlages unter der Bedingung überträgt, dass die letztere für eine Reihe von Jahren die Betriebsführung gegen bestimmte Abgaben übernimmt, das Werk also nach Fertigstellung von der Stadt pachtet. Auf diese Weise ist die erbauende Firma daran interessiert, das Werk einmal möglichst rationell zu gestalten und andererseits möglichst schnell zum Prosperieren zu bringen.

Der Pachtvertrag kann z. B. auf der Grundlage abgeschlossen werden, dass die Pächterin der Gemeinde das insgesamt für das Elektrizitätswerk aufgewendete Kapital im ersten Jahre mit 3 %, im zweiten und in allen folgenden Jahren mit 5 % zu verzinsen hat. Daneben kann noch eine Beteiligung der Gemeinde am Reingewinn in der Weise vorgesehen werden, dass der Reingewinn des Unternehmers nach Abzug des Pachtzinses und 5 % des Anlagekapitals zur Hälfte an die Gemeinde abzuführen ist.

Wenn die Gemeinde den Unternehmer auf die Dauer von 10—20 Jahren an diesen Pachtvertrag bindet, sich selbst dagegen das Recht vorbehält, jederzeit nach vorausgegangener einjähriger Kündigung das Pachtverhältnis zu lösen, so dürften der Gemeinde Chancen geboten sein, welche ihr das Risiko der sofortigen eigenen Übernahme der Betriebsführung normalerweise wohl verbietet. Allerdings ist zu bemerken, dass solch scharfe Pachtbedingungen nur für Orte möglich sind, in denen ein ganz erhebliches Strombedürfnis vorliegt.

Eine andere Möglichkeit, das Risiko der Gemeinde zu beschränken und doch einen massgebenden Einfluss auf das Unternehmen zu behalten, sowie

am Gewinn zu partizipieren, besteht darin, dass die Gemeinde zusammen mit dem Unternehmer eine besondere Gesellschaft (G. m. b. H.) gründet, welch letzterer die Konzession zur Erbauung und zum Betrieb eines Elektrizitätswerkes gegen bestimmte Abgaben an die Gemeinde erteilt wird. Durch bestimmte Klauseln des Konzessionsvertrages kann vorgesehen werden, dass die Gemeinde berechtigt ist, die Anteilscheine der Gesellschaft nach einer bestimmten Reihe von Jahren zu einem mässigen Satze zu übernehmen. In ähnlicher Weise lässt sich natürlich auch mit einem Unternehmer, welcher das Werk auf seine Rechnung erbaut hat und welchem die Konzession erteilt worden ist, vereinbaren, dass das Werk nach einer gewissen Zeit zu vereinbartem Preise oder gar kostenlos in den Besitz der Gemeinde übergeht, ohne dass sich die Gemeinde am Werk mit Kapital beteiligt hatte.

Bei Erteilung der Konzession an einen Unternehmer, welcher den Bau und Betrieb eines Elektrizitätswerkes auf eigene Rechnung übernimmt, können die verschiedensten Arten von Abgaben beansprucht werden, z. B. ein bestimmter Prozentsatz von den Bruttoeinnahmen oder ein Anteil am Reingewinn, oder auch eine Kombination beider. Die Grenze, wie weit man gehen kann, hängt zu sehr von den Stromabsatzverhältnissen ab, um Normen geben zu können. Im allgemeinen dürfte bei der gesteigerten Konkurrenz durch die Blockstationen die Ertragsfähigkeit eines Elektrizitätswerkes nicht über 4—8 $^0/_0$ des Anlagekapitals hinausgehen, so dass die Abgaben 1 $^0/_0$ des Anlagekapitals kaum überschreiten dürfen, ohne die Lebensfähigkeit des Unternehmens in Frage zu stellen.

Vierter Abschnitt.

Die innere Einrichtung der Centralen.

I. Dampfkraftanlagen.

Wenngleich in neuerer Zeit die Kraftgasanlagen immer mehr an Terrain gewinnen und einen grossen Teil der kleineren Dampfkraftanlagen bereits mit Erfolg verdrängt haben, so wird doch die Dampfkraft, welche übrigens noch unstreitig die zuverlässigste Betriebskraft ist, zum mindesten bei Elektrizitätswerken mit Maschineneinheiten von einigen Hunderten von Pferdekräften die dominierende Stellung so lange behaupten, bis es gelingt, ein reines Kraftgas aus gewöhnlicher Steinkohle herzustellen mit nur wenigen erforderlichen jährlichen Reinigungsperioden. Dass übrigens die Dampfkraft selbst bei kleineren Maschineneinheiten durchaus wirtschaftlich erzeugt werden kann und die Konkurrenzfähigkeit mit den Generatorgasanlagen noch lange nicht verloren hat, geht aus Untersuchungen hervor, welche der Magdeburger Dampfkessel-Revisionsverein an einer WOLF schen 60 PS-Tandem-Heissdampf-Lokomobile [1]) vorgenommen hat. Danach berechnen sich die Brennstoffkosten für 1 PS und Stunde zu nur 1·04 Pfg. 18. Allgemeines.

Ein Hauptaugenmerk bei Beschaffung einer Dampfkraft, von dem unter Umständen die Lebensfähigkeit derselben abhängt, ist darauf zu richten, die Wärmeverluste auf das denkbar kleinste Mass zu beschränken und die Betriebseinrichtungen so zu treffen, dass möglichst selbst durch ungeschultes Bedienungspersonal das wirtschaftliche Ergebnis nur wenig verschlechtert werden kann. Es sind daher ausser der grösstmöglichen Rücksichtnahme auf die Verminderung der Wärmeverluste bei Disposition der Anlage noch Mess- und Anzeigevorrichtungen vorzusehen, welche dem Bedienungspersonal die Möglichkeit bieten, zu erkennen, ob der Betrieb auch rationell geführt wird. Der wundeste Punkt in dieser Beziehung und daher die meiste Aufsicht und sachverständigste Leitung im Betriebe bedürfende Teil der ganzen Dampfkraftanlage ist unzweifelhaft die Kesselanlage, und sind brauchbare Anzeigevorrichtungen, welche eine fortgesetzte Kontrolle der Verbrennungsvorgänge ermöglichen und damit den Grad der Ausnutzung des Brennmaterials jederzeit erkennen lassen, ein unbedingtes Erfordernis, aber in den Anlagen leider noch viel zu wenig anzutreffen.

---

1) Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, 1904, S. 578.

a) Kesselanlage.

49. Kessel-system. Bei der Disposition der Kesselanlage kommt zunächst in Frage: Grösse des zu erzeugenden Dampfquantums und der erforderliche Dampfdruck; ferner, ob gesättigter oder überhitzter Dampf benötigt wird, d. h. Zahlenwerte, welche von der Grösse und Art der Dampfmaschinenanlage abhängen, unter

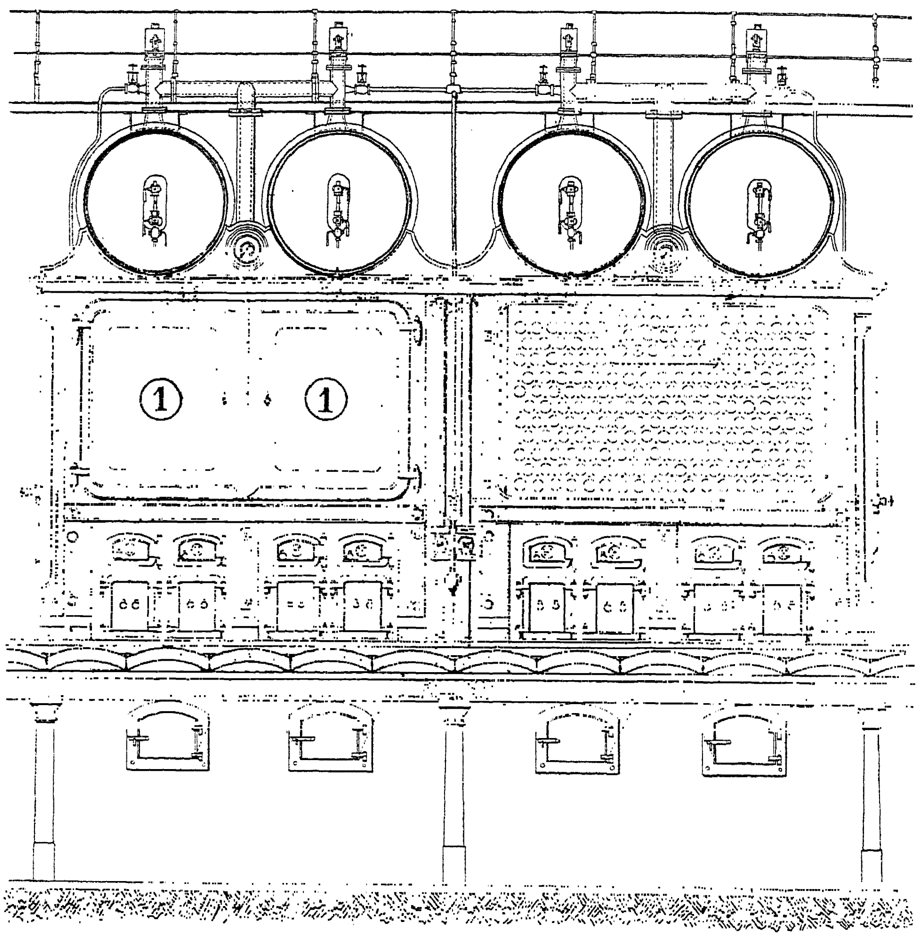


Fig. 60.

Hinzurechnung der Druckverluste in den Rohrleitungen und des Dampfverbrauches für Nebenapparate, wie Dampfpumpen u. s. w.

Während der Druckverlust in der Rohrleitung von den Kesseln bis zur Dampfmaschine 1—$1^1/_2$ Atm. betragen darf, wird man an Dampfverbrauch für Nebenapparate etwa 5—7 $^0/_0$ desjenigen Dampfquantums zu rechnen haben, welches die normal beanspruchten Dampfmaschinen erfordern.

Das Kesselsystem ist so zu wählen, dass einerseits den Anforderungen des Betriebes Rechnung getragen wird, namentlich in bezug auf Anpassungsfähigkeit der Dampferzeugung entsprechend dem Wechsel in der Belastung, wofür sich die Wasserrohrkessel, namentlich in Verbindung mit Überhitzern,

am meisten bewährt haben, und andererseits, dass in wirtschaftlicher Beziehung das günstigste Ergebnis erzielt wird. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass Wasserrohrkessel gegenüber Grosswasserraumkesseln im allgemeinen einen geringeren Wirkungsgrad aufweisen, demgegenüber aber geringeren Raum in Anspruch nehmen. Ferner lassen sich von Wasserrohrkesseln grössere Einheiten aufstellen, als bei Grosswasserraumkesseln möglich, wodurch an Bedienungskosten gespart werden kann. Schliesslich ist noch zu

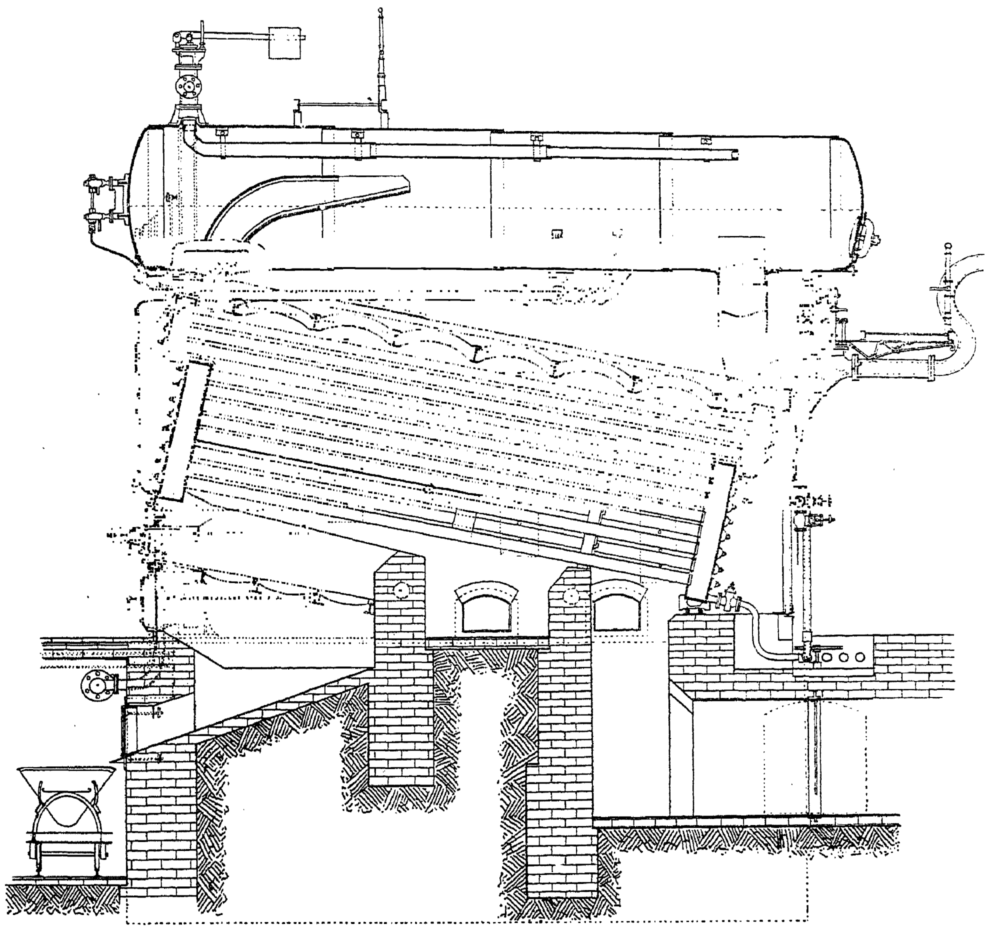


Fig. 61.

berücksichtigen, dass das Anfeuern bei Wasserrohrkesseln nur etwa die Hälfte an Zeit und Feuerungsmaterial gegenüber Grosswasserraumkesseln erfordert. Es sind also Arbeitslöhne und Kohlenersparnisse gegen Zinsverluste abzuwägen.

In Fig. 60 u. 61 ist ein Wasserrohrkessel des städtischen Elektrizitätswerkes Dortmund von 275 m² Heizfläche für 11 Atm. Überdruck dargestellt, welcher von der Firma E. Willmann, Dortmund, für genanntes Werk gebaut wurde. Wie die Figuren erkennen lassen, werden die in Verbindung mit zwei Wasserkammern stehenden und von den Feuergasen umspülten Rohre den in ihnen erzeugten Dampf durch die vordere Wasserkammer in den

Oberkessel leiten, von wo aus derselbe seinen Weg durch den eingebauten Überhitzer von 28·5 m² Heizfläche nehmen muss.

Die Tafel XI stellt einen Wellrohrkessel der Akt.-Ges. Görlitzer Maschinenbauanstalt und Eisengiesserei mit eingebautem Überhitzer dar, wobei die Feuergase die beiden Wellrohre parallel durchstreichen, um am Ende vor dem Eintritt in den Fuchs noch die Überhitzerrohre zu umspülen.

In Tafel XII ist ein Doppelwellrohrkessel von derselben Firma ebenfalls mit Überhitzer gezeichnet, bei dem zur Verminderung der Länge ein zweiter Wellrohrkessel über dem ersten angeordnet ist.

Um die Vorteile des Wasserröhrenkessels, welche in der Unterbringung einer grossen Heizfläche auf einer kleinen Grundfläche bestehen, mit denen des Grosswasserraumkessels, welche in der Erzeugung eines möglichst trockenen Dampfes bei bester Ausnutzung des Brennmaterials gipfeln, zu kombinieren, sind beim Vorhandensein von reinem Speisewasser kombinierte Kessel am Platze.

Tafel XIII stellt einen kombinierten Wellrohrröhrenkessel der Akt.-Ges. Görlitzer Maschinenbauanstalt und Eisengiesserei dar, bei welchem die Feuergase nach Austritt aus dem Wellrohrkessel noch ihre Wärme an den Röhrenkessel und den Überhitzer abgeben. Zwecks Erzielung eines möglichst trockenen Dampfes hat sowohl der Ober- als auch der Unterkessel seinen besonderen Dampfraum; beide sind durch ein vertikales, weites Rohr miteinander verbunden. Durch die Trennung der Dampfräume wird eine grosse Wasserspiegelfläche geschaffen, so dass die Dampfblasen, ohne zu grosse Wallungen im Wasser hervorzurufen, aufsteigen können, ein starkes Zerstäuben des Wassers also nicht eintreten kann. Die Speisung erfolgt in den Oberkessel. Das überschüssige Wasser wird durch ein Überlaufrohr dem Unterkessel zugeführt. Da im letzteren die Verdampfung eine stärkere ist als im ersteren, so hat der Heizer beim Speisen lediglich auf den Unterkessel zu achten.

Bei allen Kesselsystemen ist vom Lieferanten ausser dem angemessenen Wirkungsgrade bei Normal- und Maximalleistung noch zu garantieren, dass technisch trockener Dampf erzeugt wird, sowie dass namentlich bei Wasserrohrkesseln die Wasserzirkulation eine solch lebhafte ist, dass sich in den Rohren kein Schlamm festsetzen kann.

Ist für den Betrieb der Dampfmaschinen überhitzter Dampf, auch wohl Edeldampf genannt, vorgesehen, wodurch nicht nur Verluste durch Kondensation in den Rohrleitungen vermieden werden, sondern vor allem die Arbeitsleistung des Dampfes durch Vergrösserung seines Wärmegefälles in der Maschine erhöht wird, also eine Dampfersparnis, und zwar von 20—40 % maximal, für gleiche Leistung resultiert, so lässt sich dieselbe erreichen, einmal durch Aufstellen eines separat gefeuerten Überhitzers (Fig. 62), oder aber durch Einbau von Überhitzerrohren in einen gewöhnlichen Kessel. In beiden Fällen wird der im Kessel erzeugte gesättigte Dampf durch das Überhitzerrohrsystem geleitet und hier auf die gewünschte Temperatur gebracht. Die Grenze für die Steigerung der Temperatur ist vorwiegend durch Rücksichtnahme auf die Schmiermittel gegeben. Bei Temperaturen von über 350° wachsen die Schwierigkeiten bei den Kolbendampfmaschinen derartig, dass die Betriebssicherheit ernstlich gefährdet wird. Der separat gefeuerte Überhitzer hat naturgemäss den Vorteil der grösseren Regulierbarkeit der Temperatur für sich, bringt jedoch wegen der vergrösserten Wärmeaus-

strahlungsflächen sowie der besonderen zu bedienenden Feuerstätte wiederum Verlustquellen mit sich. Beim Einbau der Überhitzerrohre in das Kesselsystem, also bei indirekt gefeuertem Überhitzer, wird ein Teil der Zugwirkung des Schornsteines durch den zugefügten Widerstand absorbiert, und da ferner die Kesselfeuerung der momentan benötigten und erzeugten Dampfmenge angepasst werden muss, so wird die Dampftemperatur bei variabler

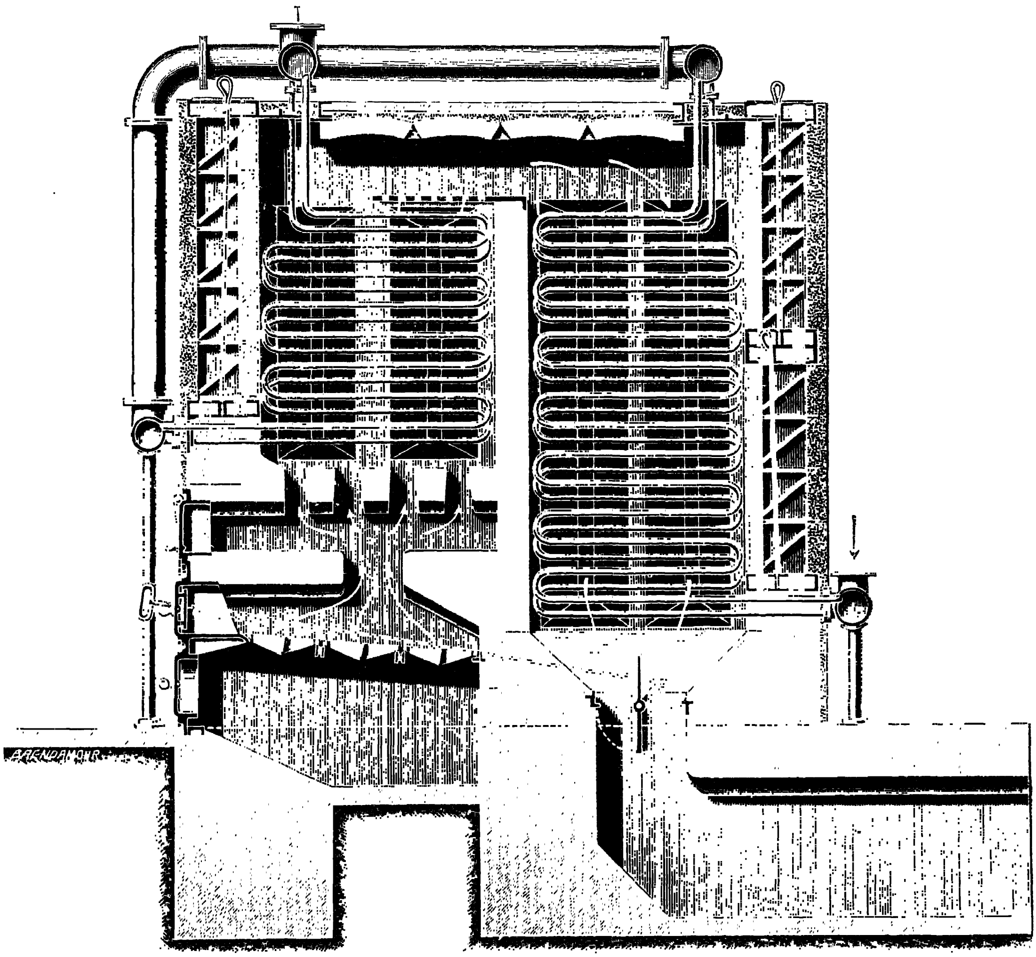


Fig. 62. Direkt gefeuerter Überhitzer mit abnehmbaren Wänden der Aschersleben Maschinenbau-Aktiengesellschaft.

Belastung veränderlich ausfallen. Der wesentlichste Vorteil des indirekt gefeuerten Überhitzers besteht darin, dass einmal die wärmeausstrahlende Kesselfläche durch den Einbau nur unwesentlich oder gar nicht vergrössert wird und dass sich eine besondere Bedienung des Überhitzers erübrigt.

Die Grösse der Kesseleinheiten wird in erster Linie durch Rücksichten auf die Wirtschaftlichkeit der Dampferzeugung bestimmt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Bedienungskosten sich um so geringer stellen, je grösser die Kesseleinheiten sind; auch fallen alsdann die Wärmeverluste so lange geringer aus, als der Kessel voll in Anspruch genommen wird. 50. Grösse der Einheiten.

Ebenso stellen sich die Einrichtungskosten bei grossen Einheiten geringer. Da aber die Kessel periodischer Reinigung und zeitweiser Reparatur bedürfen, für welche Arbeiten nicht immer die Zeit der geringsten Beanspruchung ausreichen wird, so ist eine Reserve vorzusehen, welche möglichst nicht über 20—30 % von der Gesamtleistungsfähigkeit der Kesselanlage betragen soll, so dass bei kleineren Anlagen die Rücksicht auf das im Reservekessel tot anzulegende Kapital die Wahl grosser Einheiten verbietet. Ferner ist bei Wahl der Grösse der Kesseleinheiten darauf Rücksicht zu nehmen, dass während der Betriebsdauer möglichst jeder im Betrieb befindliche Kessel voll in Anspruch genommen werden kann, da nur dann ein hoher Nutzeffekt erreichbar ist.

51. Feuerungs-einrichtungen. Die Feuerungseinrichtung soll ermöglichen, dass das verfügbare vorteilhafteste Brennmaterial mit höchster Ausnutzung der enthaltenen Wärme verbrannt wird. Es ist demnach zunächst zu ermitteln, was an Brennmaterialien an dem gegebenen Orte zur Verfügung steht. Das am weitesten verbreitete Material ist Steinkohle und sodann Braunkohle, doch kommen auch stellenweise Rohpetroleum oder Masut, Naturgas und Torf, sowie auch Abfallprodukte anderer Betriebe, wie z. B. Hochofengase, Koks, Holz u. s. w. vor. Bei der Auswahl des Brennmaterials sind die Transportkosten sowohl für das Material selbst, als auch für Beseitigung der Rückstände, sowie die Bedienungskosten der Feuerung nicht ausser acht zu lassen und ist zu berücksichtigen, dass die Feuerungseinrichtungen, und unter Umständen sogar die ganze Kesselanlage, für die geringwertigen Materalien sich grösser und daher kostspieliger gestalten.

Die günstigste Ausnutzung der im Brennstoff enthaltenen Wärme findet statt, wenn dem Brennstoff gerade so viel Luft zugeführt wird, dass der Kohlenstoff sich mit dem Sauerstoff der Luft bei möglichst niedriger Abgangstemperatur vollständig zu Kohlensäure verbindet.

Durch Bestimmung des Gehaltes der abziehenden Rauchgase an Kohlensäure ist demnach die Möglichkeit gegeben, den Grad der Vollkommenheit der Verbrennung zu erkennen. Derselbe ist bei 21 % Kohlensäure am höchsten, da der Sauerstoffgehalt der atmosphärischen Luft 21 % beträgt. Praktisch ist es aber nicht möglich, genau mit der theoretischen Luftmenge auszukommen, vielmehr ist ein gewisser Überschuss (30 %) an Verbrennungsluft erforderlich, welcher eine Verminderung des Kohlensäuregehaltes bedingt.

Die ausserordentlich grosse Bedeutung, welche der richtigen Bemessung der Verbrennungsluft zukommt, erhellt aus Fig. 63, in welcher die Abhängigkeit des Kohlenverlustes von dem Volumprozent CO_2 dargestellt ist, unter der Voraussetzung, dass die Temperatur der Abgase nur 270° C. beträgt. Es geht daraus hervor, dass der Kohlenverlust, welcher bei 15 % Kohlensäure (gleich einem Luftüberschuss von 30 %), schon 12 % beträgt, bei nur 2 % Kohlensäure bereits auf 90 % ansteigt. Ein zu grosser Luftüberschuss verursacht also erhebliche Wärmeverluste, indem die überschüssige Luft mit erhitzt wird und viel Wärme durch den Schornstein entweicht, während eine zu geringe Luftmenge unvollständige Verbrennung bedingt und ausser starker Rauch- und Russplage zur verlustvollen Bildung von Kohlenoxyd und Kohlenwasserstoffen Anlass giebt.

Das Haupterfordernis einer rationell angelegten Feuerung ist demnach, die Zuführung einer für den verwendeten Brennstoff richtig bemessenen Luftmenge an der richtigen Stelle jeweils zu ermöglichen. Dieselbe wird natur-

gemäss mit wechselnder Beanspruchung des Kessels variieren, aus welchem Grunde in jeder Kesselanlage eine Anzeigevorrichtung vorhanden sein sollte, welche den Grad der Verbrennung, sowie die Temperatur der Abgase leicht und sicher jederzeit erkennen lässt.

Ein von der Gesellschaft „Ados" in den Handel gebrachter Heizeffektmesser ist in Fig. 64 dargestellt. Derselbe bestimmt automatisch auf chemischem Wege den Kohlensäuregehalt der Rauchgase in beliebig einzustellenden Zeitabschnitten und zeichnet die Resultate auf einem Registrierstreifen in jederzeit sichtbarer Weise auf. Der Antrieb des Heizeffektmessers erfolgt automatisch durch ein vom Schornsteinzug betätigtes Kraftwerk, welches eine mit Glyzerin gefüllte Flasche um einen bestimmten Hub periodisch hebt und senkt und ausserdem auch die erforderlichen Rauchgaspumpen **52.** Messung des Heizeffektes.

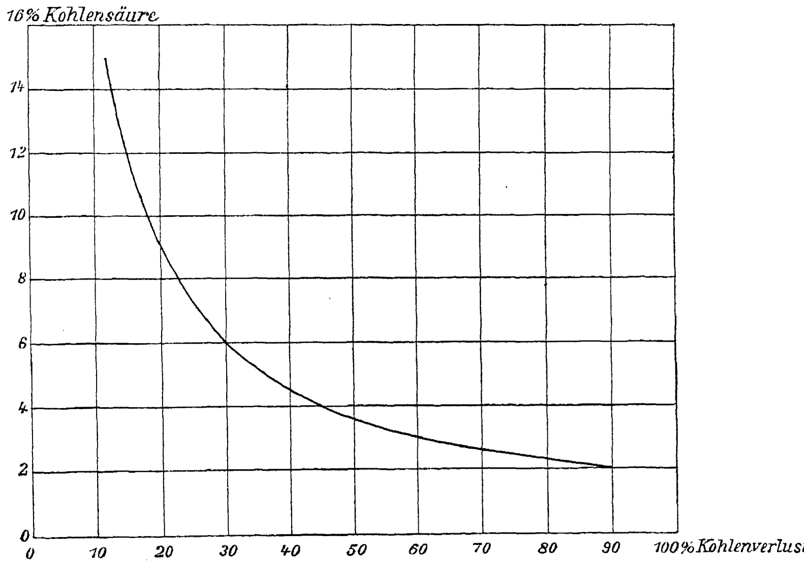


Fig. 63.

antreibt. Bei jedesmaligem Hub wird ein Gasquantum von 100 cbcm abgefangen und nach Passieren eines Filters auf die im Absorptionsgefäss befindliche Kalilauge gedrückt, welche die im Gase enthaltene Kohlensäure begierig absorbiert. Nun wird die Kalilauge weiter in einen Behälter gedrängt und bewirkt, dass eine Tauchglocke, welche mit einem Registrierhebel und einer Schreibfeder verbunden ist, um so höher gehoben wird, je weniger Volumenprozente CO_2 die abgefangene Feuergasprobe enthält. Auf dem auf einer mittels Uhrwerk betriebenen Trommel befindlichen Papierstreifen werden die Volumenprozente CO_2 durch verschieden hohe vertikale Linien markiert.

Ein anderer Apparat, welcher nicht wie der Ados-Apparat auf der chemischen, sondern auf physikalischer Einwirkung beruht, indem der Unterschied der spezifischen Gewichte der Rauchgase mit der Luft die Verschiebung einer Flüssigkeitssäule bewirkt, also eine hydrostatische Gaswage darstellt, ist der von der Firma G. A. Schultze, Berlin, hergestellte Rauchgasanalysator, System Krell-Schultze. Das Prinzip dieses Apparates ist aus der schema-

tischen Darstellung Fig. 65 zu ersehen. Ein geneigtes Glasrohr *r* steht einerseits mit dem Flüssigkeitsbehälter *q* und von da mit dem Rohr *a* in Verbindung und andererseits mit dem Rohr *b*. An der Vereinigungsstelle von

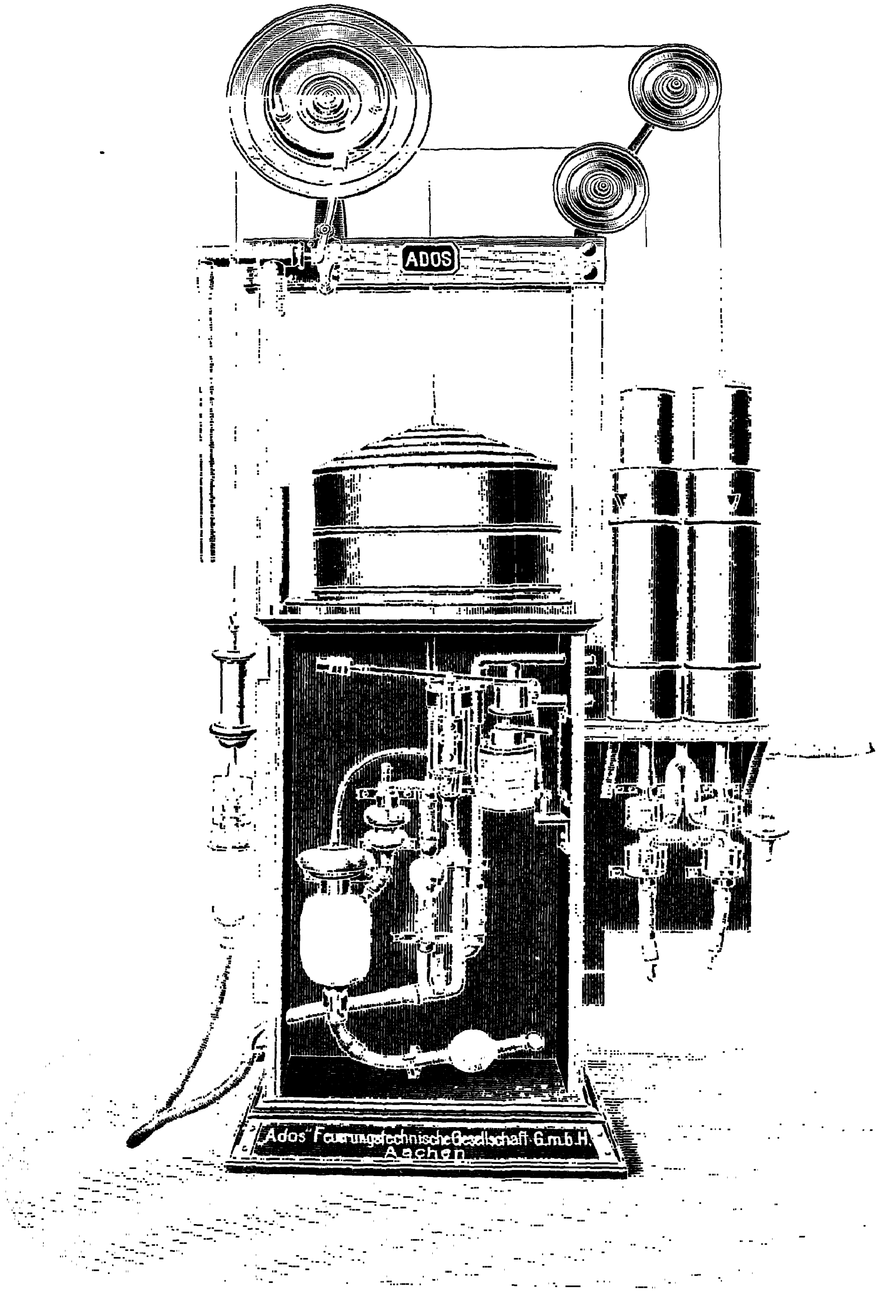


Fig. 64.

a und *b* zweigt bei *x* ein zum Schornstein führendes Rohr ab. Die unteren Enden der Rohre sind weiterhin bei *e* mit der atmosphärischen Luft und bei *f* mit dem Fuchs des Kessels verbunden. Durch den Schornsteinzug

werden also ständig im Rohr *b* Luft und im Rohr *a* Rauchgase emporsteigen. Je mehr Kohlensäuregehalt die Rauchgase besitzen, um so schwerer sind dieselben und um so mehr verschiebt sich die im Glasrohr *r* befindliche Flüssigkeitssäule nach links. Um Fehler auszuschliessen, ist dafür Sorge zu tragen, dass der Apparat sowohl im statischen als auch dynamischen Zustande gleich anzeigt, was durch Öffnen und Schliessen des Hahnes *h* in der Saugeleitung kontrolliert werden kann. Um die Angaben des Instrumentes zu vergrössern, kann mit Hilfe einer Projektionslampe das Bild des Rohres *r* mit der Flüssigkeitssäule auf einen Schirm geworfen und so dem Heizer bequem sichtbar gemacht werden.

Schematische Ansicht.

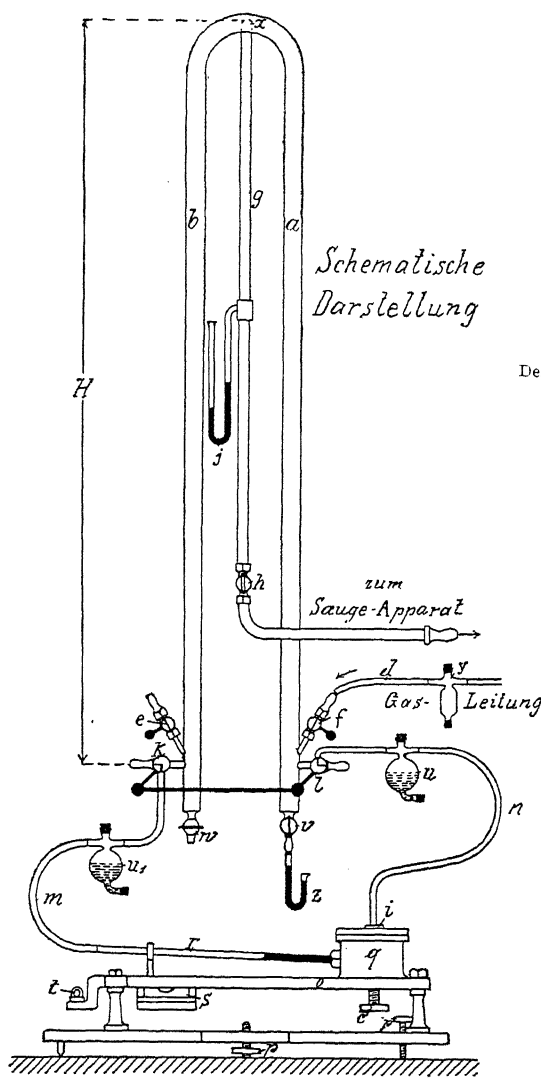


Fig. 65.

Um das Brennmaterial zur zweckmässigen Verbrennung bringen zu können, wird dasselbe auf einen unter dem Kessel angeordneten Rost, welcher als Träger des Brennmaterials dient, aufgetragen. Derselbe ist mit Öffnungen versehen, um die zur Verbrennung erforderliche Luftmenge durchzulassen, und besteht in der Regel aus einzelnen aneinander gelegten Roststäben. Die freie Rostfläche, d. h. die von den Öffnungen eingenommene Fläche, soll möglichst gross gewählt werden, um schon mit kleiner Zugwirkung das erforderliche Luftquantum durchzulassen, ohne jedoch ein Durchfallen des Brennmaterials zu gestatten. **53. Der Rost.**

Man unterscheidet im wesentlichen zwei Arten von Rosten, den Planrost und den Treppenrost. Der letztere kommt bei minderwertigem Brennmaterial in erster Linie in Frage. Durch das allmähliche Hinabgleiten des Brennmaterials auf der schrägen Rostfläche ist auch die Entfernung der Verbrennungsrückstände am Ende der Rostbahn, woselbst zu dem Zwecke eine verschliessbare Öffnung vorgesehen ist, einfach und mit geringen Wärmeverlusten möglich.

Ein wichtiges Glied der Feuerungseinrichtung ist die Zugerzeugung, mit **54. Zugerzeugung.**
deren Hilfe es erst möglich wird, dem Brennstoff die erforderliche Luftmenge

zuzuführen. Hier unterscheidet man zwei Arten, nämlich den natürlichen und den künstlichen Zug. Der erstere wird in einem aus Mauerwerk oder Eisen hergestellten Schornstein durch den Temperaturunterschied der Aussenluft und der Feuergase erzeugt und soll eine Zugstärke von mindestens 14—18 mm Wassersäule erreichen; die Zugstärke ergiebt sich aus der Höhe und Weite des Schornsteines und wird durch die in Bewegung gebrachte Luftsäule hervorgerufen. Die zweite Art der Zugerzeugung ist die künstliche, bei welcher durch mechanisch angetriebene Ventilatoren oder Exhaustoren die dem Luftzutritt zum Verbrennungsraum entgegenstehenden Widerstände überwunden werden.

Die notwendige Regulierung der Zugwirkung erfolgt in einfachster Weise mit Hilfe eines Schiebers, indem durch denselben der Kanalquerschnitt entsprechend verändert wird.

Wie im Vorhergehenden ausgeführt, hängt der Grad der Ausnutzung der im Brennstoff enthaltenen Wärmemenge in ganz hervorragendem Masse von dem zugeführten und richtig bemessenen Luftquantum ab, welches wiederum durch die Grösse der Zugwirkung bestimmt wird.

Hierbei ist zu erwähnen, dass die meist übliche Bestimmung des Zuges in Millimeter Wassersäule vor dem Rauchschieber allein keinen Anhalt für die Grösse des zugeführten Luftquantums ergiebt, da man hier z. B. bei geöffneten Feuertüren, obwohl jetzt die meiste Luft durch die Züge streicht, nur einen kleinen Ausschlag des Zugmessers erhält, dagegen bei geschlossenen Feuertüren einen grösseren Ausschlag, der um so mehr wächst, je dicker die Kohlenschicht auf dem Rost ist, also je grösser der Widerstand für die durchströmende Luft wird, obwohl dem Anwachsen dieses Widerstandes entsprechend nur ein um so kleineres Luft- resp. Rauchgasquantum die Züge passieren kann.

Will man also mit Hilfe des Zugmessers bezw. aus der Grösse der Zugwirkung einen Rückschluss auf die dem Brennmaterial zugeführte Luftmenge machen, so muss der Zug sowohl vor dem Rauchschieber, als auch über dem Rost gemessen und die Differenz aus beiden gebildet werden. Diese Differenz ist eindeutig mit dem verbrauchten Luftquantum. Der Differenzzug kann auch direkt gemessen werden, wenn der Zugmesser gleichzeitig an den Feuerraum über dem Rost und an dem letzten Zug vor dem Schieber angeschlossen wird. Solche Apparate werden unter dem Namen Zugometer als Differenzdruckmesser unter anderen von der Firma Max Schubert, Chemnitz, in den Handel gebracht. Ist die Qualität des verfeuerten Brennstoffes unverändert, so bedarf es nur einer einmaligen Ermittelung, welcher günstigste Differenzzug den verschiedenen Graden der Kesselbeanspruchung zukommt, um zu jeder Zeit die Kesselfeuerung in der wirtschaftlichsten Weise gestalten zu können. Zugometer, Manometer und Angriffspunkt zur Schieberregulierung sollen so nahe beisammen angeordnet werden, dass es dem Heizer leicht fällt, die Zugometerzahl so niedrig zu erhalten, um noch eben die richtige Dampfspannung erzeugen zu können. Denn unter diesen Umständen ergiebt sich der ökonomischste Betrieb.

55. Rauchverbrennung und mechanische Feuerungen. Bei einer guten, modernen Feuerungsanlage soll jedoch nicht nur die günstigste Nutzbarmachung der Verbrennungswärme allein ins Auge gefasst werden, sondern die berechtigten hygienischen Forderungen verlangen auch, dass die Verbrennung möglichst ohne Rauch und Russ[1]) vor sich geht. Die

1) Vgl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1905, S. 20.

Erreichung dieses Zieles wird dadurch angestrebt, dass sowohl eine innige Mischung der Verbrennungsluft mit den Heizgasen herbeigeführt wird, als auch dadurch, dass der Brennstoff kontinuierlich dem Rost zugeführt wird, und zwar entweder in gleichmässiger Verteilung über die ganze Rostfläche oder am Anfang der Rostfläche derartig, dass die entwickelten Gase gezwungen sind, über die bereits in Glut befindlichen Teile hinweg zu streichen. Hierbei wird der weitere wichtige Vorteil erreicht, dass das Einströmen

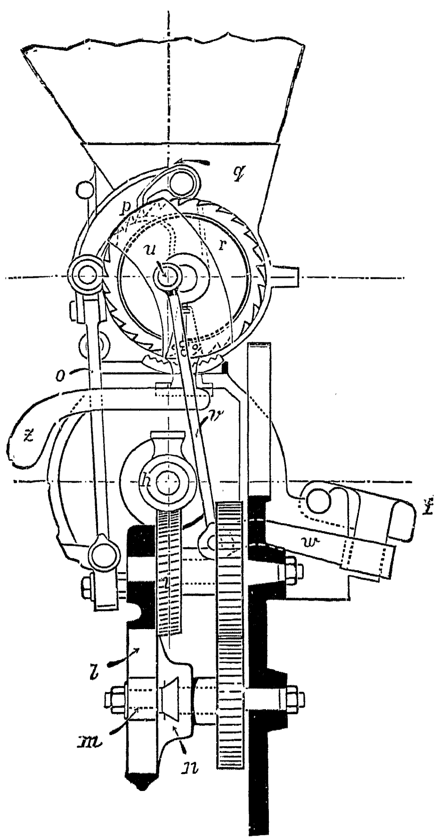


Fig. 66.

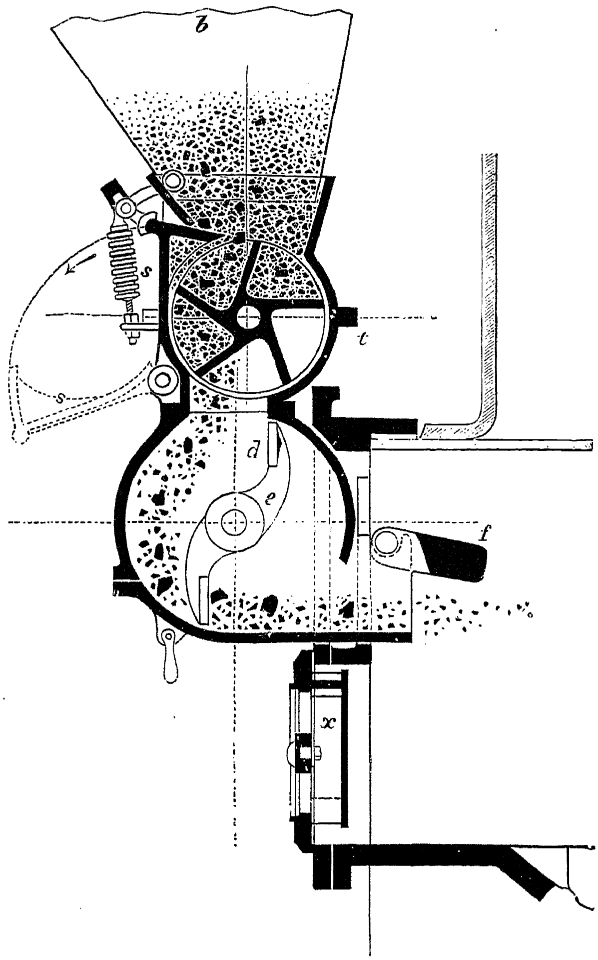


Fig. 67.

kalter Luft beim jedesmaligen Öffnen der Feuertüren, welches eine Erniedrigung der Temperatur im Feuerraum, also Verluste bedingt, vermieden wird, bezw. sich auf die Schür- und Abschlackungsperiode beschränkt.

Eine gleichmässig über die ganze Rostfläche verteilte kontinuierliche Beschickung findet z. B. bei dem in den Fig. 66, 67 und 68 dargestellten mechanischen Feuerungsapparat „Patent Leach“ der sächsischen Maschinenfabrik Chemnitz statt. Dieser Apparat fordert allerdings eine möglichst gleichmässige Korngrösse der Kohle, damit eine gute Verteilung über die ganze Rostfläche erzielt wird, weil derselbe auf der Schleuderwirkung beruht.

Die Einbringung des Brennmaterials am Anfang des Rostes wird unter anderen mit Hilfe des in Fig. 69 dargestellten Kettenrostes der Deutschen Babcock & Wilcox Dampfkesselwerke bewirkt, wobei der ganze, aus einzelnen Kettengliedern bestehende, mit Brennmaterial belegte Rost unter Vermittelung eines besonderen Antriebsmechanismus langsam wandert. Am Anfang der Feuerung findet die Aufbringung frischer Kohle automatisch durch die Trichter statt und am Ende der Rostbahn werden die Verbrennungsrückstände abgestossen.

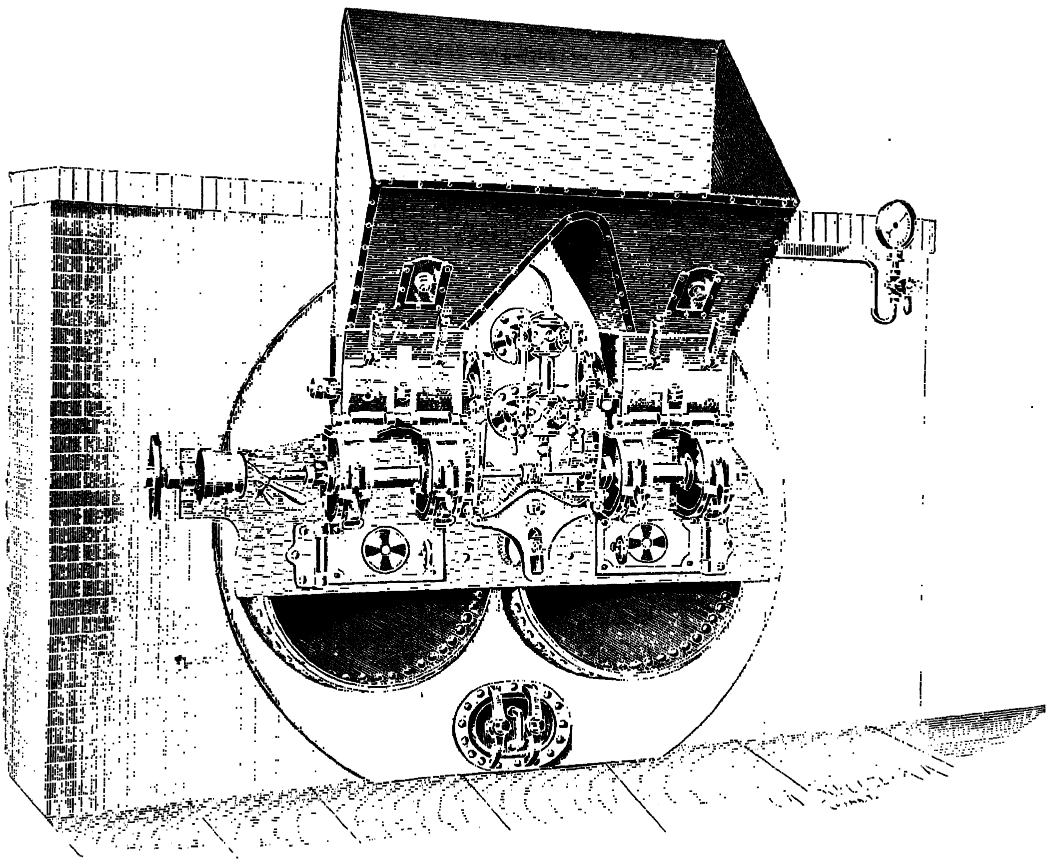
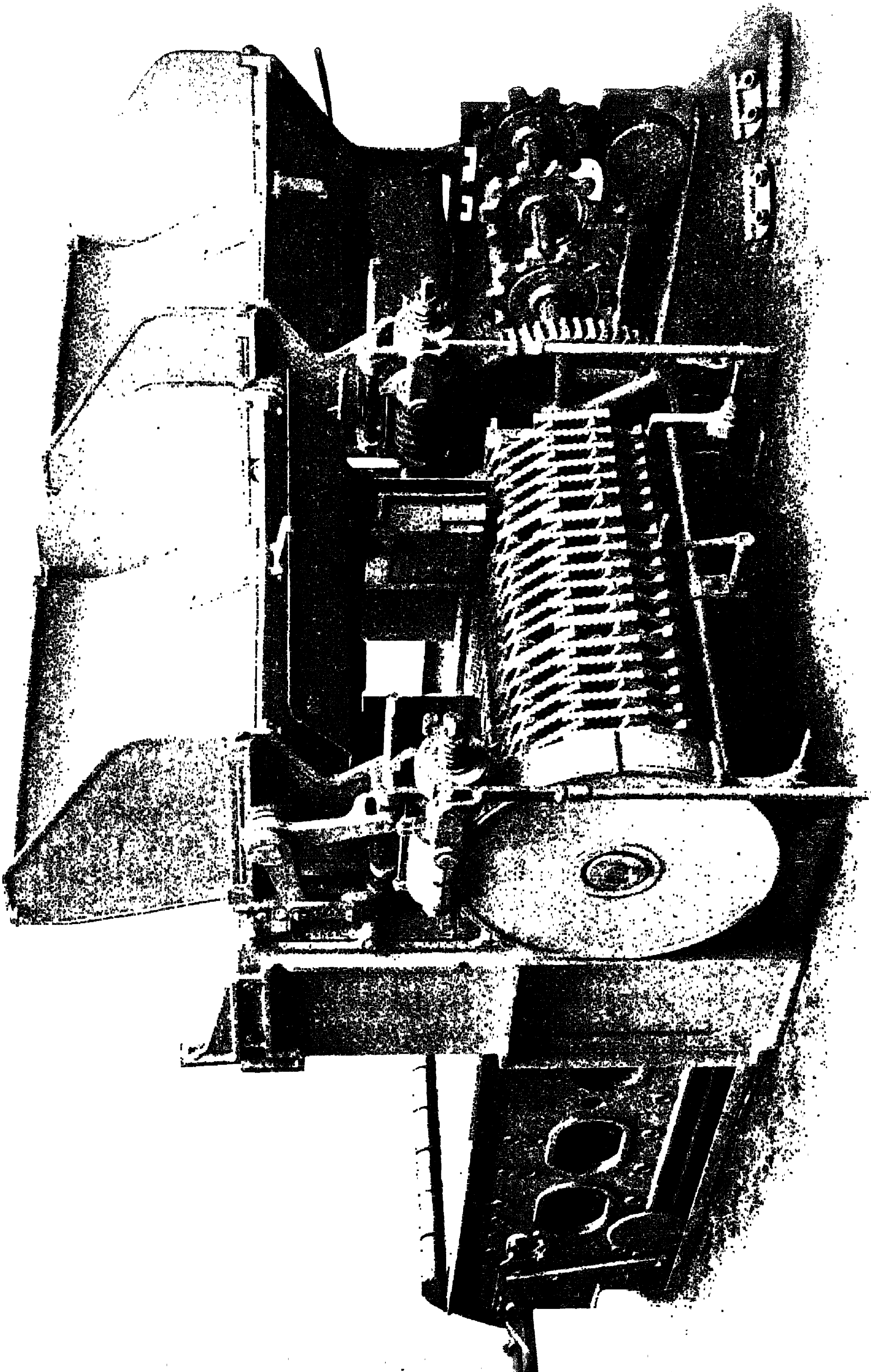


Fig. 68.

Diese mechanischen Feuerungen haben den weiteren Vorteil, dass das Heizerpersonal wesentlich entlastet wird.

Da jedoch die mit Hilfe der Trichter vorn am Rost frisch aufgebrachten Kohlen nur wenig Berührungsfläche mit dem bereits in Glut befindlichen Material aufweisen, die erzeugte Glut ausserdem durch die Zugwirkung von dem frischen Brennstoff abgezogen wird, so ist nicht jede Kohlensorte zum Verbrennen auf dem Kettenroste geeignet und versagen namentlich die gasarmen Sorten leicht auf diesem Rost. Ausserdem ist auch bei den Kettenrosten eine gleichmässige Körnung des Brennmaterials geboten, um ungleichmässiger Verbrennung und damit vorschnellem Verschleiss der Apparate vorzubeugen.



In bezug auf rauchfreie Verbrennung weisen auch die sogenannten Halbgasfeuerungeu bemerkenswerte Erfolge auf. Die Tafel XIV stellt eine solche der Akt.-Ges. Görlitzer Maschinenbauanstalt und Eisengiesserei dar. Der Erfolg der Halbgasfeuerungen liegt darin, dass eine Vergasung der Kohlen am Anfang der schrägen Rostfläche eingeleitet wird und die gebildeten brennbaren Gase gezwungen werden, an zwei Einschnürungen des Feuerraumes dicht über die glühende Kohlenschicht hinwegzustreichen. Der Zwischenraum zwischen den Einschnürungen bewirkt ferner eine intensive Wallung und damit Vermischung der Heizgase mit der Verbrennungsluft. Erst hinter der letzten Einschnürung gelangen die Feuergase in Berührung mit der Kesselheizfläche, um hier ihre Wärme an das Kesselwasser abzugeben.

Bei von Hand beschickten Feuerungen giebt vor allem die Periode des Aufwerfens Anlass zur Rauchentwickelung.

Die zunächst stattfindende trockene Destillation und Vergasung des Brennmaterials erfordert naturgemäss erhöhte Luftzufuhr, welcher die Höhe der glühenden Kohlenschicht einen beträchtlichen Widerstand entgegenbringt. Des weiteren findet durch das neu eingebrachte Brennmaterial und die beim Öffnen der Feuertür einströmende kalte Luft eine Temperaturerniedrigung statt, welche die Russbildung sehr befördert. Schliesslich sind die Vorbedingungen der lebhaften Mischung der Feuergase mit der Luft behufs vollkommener Verbrennung nicht immer erfüllt. Um diesem Übelstande abzuhelfen, ist von Kowitzke & Co., Berlin, ein Rauchverbrennungsapparat konstruiert, dessen wesentlichster Teil in einer hohlen, düsenförmigen metallenen Feuerbrücke besteht, welche an ihrem unteren Ende mit Jalousieklappen, die beliebig geöffnet und geschlossen werden können, versehen sind, durch welche den über die Feuerbrücke hinstreichenden Heizgasen während der Rauchentwickelungsperiode neue vorgewärmte Luft zugeführt wird. Die Betätigung der Jalousieklappen wird zweckmässig durch das Öffnen und Schliessen der Feuertüren zwangläufig bewirkt.

56. Garniturteile, Armatur- und sonstige Zubehörteile.

Zu den Garniturteilen gehört das Feuergeschränk, die Feuer- und Aschfalltüren, die Roststäbe nebst deren Trägern sowie die Rauchschieber.

Zur Armatur rechnet man das Speiseventil, welches sich durch den Druck im Kessel selbsttätig schliessen soll und so nahe als möglich am Kessel anzubringen ist, ferner das Sicherheitsventil, um eine Überschreitung der höchsten zulässigen Dampfspannung zu verhüten, dann das Dampfabsperrventil, um den Kessel ein- und ausschalten zu können, dasselbe ist an der höchsten Stelle des Dampfkessels anzubringen, ferner den Wasserstandsanzeiger zum Erkennen des Wasserstandes im Dampfkessel, sodann das Manometer zur Messung des Dampfüberdruckes in kg/cm^2 nebst Kontrollflansch, und schliesslich Probierhähne und Ablassventile. Die letzteren dienen zum Entleeren des Wasserinhaltes und sind daher an der tiefsten Stelle der Kessel anzubringen.

Ausser diesen unbedingt erforderlichen Teilen sind eventuell noch Alarmapparate vorzusehen, welche bei zu tief gesunkenem Wasserstand ein Signal auslösen und besonders für Flammrohre, deren Wände durch Wassermangel zum Erglühen gebracht werden, sehr vorteilhaft sind. Die Wirkungsweise dieser Apparate beruht meist darauf, dass an den gefährdeten Stellen ein leicht schmelzbarer Metallstöpsel eingebracht wird, welcher bei gewünschter Temperatur schmilzt und dadurch ein elektrisches Läutewerk in Gang setzt.

Sehr gute Dienste leisten auch selbsttätige Speisevorrichtungen der Kessel, welche von der Höhe des Wasserstandes abhängig sind, und wodurch das Wasser dem Kessel, entsprechend dem Dampfverbrauch, zugeführt wird. Einen äusserst einfachen Wasserstandregler, System HANNEMANN, Charlottenburg, stellt die Fig. 70 dar. Der Wasserstand wird dadurch im Kessel konstant erhalten, dass ein selbsttätig arbeitendes Ventil, welches mit einem in einem Gehäuse angebrachten und durch eine Membrane abgedichteten Kolben verbunden ist, angehoben wird, sobald die untere Öffnung des bis zur normalen Wasserstandshöhe eingeführten Standrohres vom Wasser frei wird und Dampf eintreten kann. Damit die Dampfspeisepumpen eine ständige

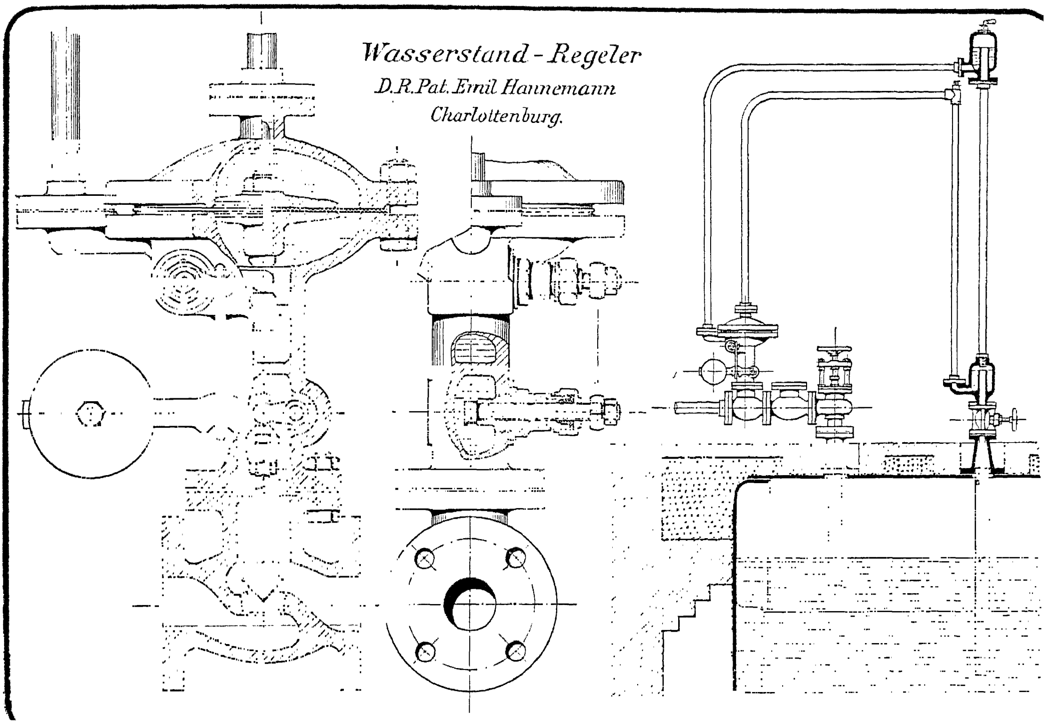


Fig. 70.

und gleichmässige Speisung ermöglichen, werden die schwungradlosen Dampfpumpen mit einem Druckregler versehen, welcher in die Dampfleitung eingeschaltet, den Gang der Pumpe dem jeweiligen Wasserbedarf entsprechend regelt. Bei Verwendung nicht regulierbarer Speisepumpen wird die Speiseleitung mit einem Sicherheitsventil versehen, durch welches das überschüssige Wasser entweichen und zur Entnahmestelle zurücktreten kann.

Von Vorteil ist ferner noch die Kenntnis der Grösse der jeweiligen Leistung jedes einzelnen Kessels, da sich hiernach die Stärke des Feuers zu richten hat. Die vielfach eingeführte Speisewassermessung durch Wassermesser, welche einem Elektrizitätszähler im elektrischen Teil entsprechen würde, kann über die momentane Leistung keinen Aufschluss geben; hier wäre vielmehr ein Instrument entsprechend einem Wattmeter im elektrischen Teil am Platze. Die Grösse der zeitlichen Dampfproduktion lässt sich in

einfacher Weise aus der Messung des Druckunterschiedes vor und hinter einer in die Dampfleitung eingebauten Stauscheibe ermitteln, indem das durch die Scheibe fliessende Dampfquantum auf Grund einer von Professor ZEUNER aufgestellten Formel berechnet wird. Ein derartiges Instrument (Patent GEHRE) wird z. B. von HALLWACHS & Co., Malstatt — St. Johann a. d. S., gebaut.

57. Bauliche Anordnung. Die gesetzliche Vorschrift bestimmt, dass das Kesselhaus stets hell und reinlich sein soll, ferner darf dasselbe nicht überwölbt und nicht mit fester Balkendecke versehen sein. Die Höhe muss mindestens so sein, dass ein Mann in aufrechter Stellung das obere Kesselmauerwerk begehen kann.

Um kurze Rohrleitungen zu erhalten und so an Dampfverlusten zu sparen, empfiehlt es sich, das Kesselhaus in unmittelbarer Nähe des Maschinenhauses anzuordnen. Ferner ist der Kohlenraum möglichst mit dem Kesselhause zu verbinden. Im übrigen ist die Anordnung so zu treffen, dass einmal ein leichtes Einbringen der Kessel ermöglicht wird und andererseits der erforderliche Platz für das Schüren sowie für Reparatur- und Reinigungsarbeiten der Kessel verbleibt; auch ist für zweckmässige Unterbringung der Rohrleitungen genügender Raum zu schaffen.

Der Einmauerung der Kessel fällt die wichtige Aufgabe zu, die Wärme zusammenzuhalten und die Heizgase vermittelst der Züge so zu leiten, dass die günstigste Wärmeausnutzung erreicht wird, ohne jedoch die bequeme Reinigung zu beeinträchtigen.

Damit bei Reparaturen an der Einmauerung nicht zu viele Kessel ausser Betrieb zu setzen sind, beschränkt man sich zweckmässig auf paarweisen Zusammenhang. Bei grösseren Kesselanlagen ist ferner der Bau so einzurichten, dass eine zweckmässige Kohlenzuführung und Lagerung, sowie einfache Aschenabfuhr möglich ist. Für die Kohlen können oberhalb der Kessel Kohlenbunker vorgesehen werden, die durch besondere Kohlentransporteinrichtungen, wie z. B. ein Becherwerk oder Bandtransport, gefüllt werden. Dasselbe Becherwerk kann auch dazu benutzt werden, um auf dem Rückwege gleichzeitig die Asche aus der Centrale fortzuführen, wie dieses z. B. in amerikanischen Elektrizitätswerken mehrfach anzutreffen ist.

Schliesslich sind Wiegeeinrichtungen vorzusehen, um sowohl das gesamte eingebrachte Kohlenquantum, als auch den täglichen Verbrauch abwiegen zu können, letzteren möglichst für jeden einzelnen Kessel getrennt, da aus der Kenntnis des Verhältnisses des verfeuerten Kohlenquantums zur erzeugten Energiemenge wichtige Schlüsse auf die Beurteilung des rationellen Betriebes gezogen werden können. Ferner ist die Kenntnis des Gewichtes der Verbrennungsrückstände von Wichtigkeit für die Wertbestimmung des Brennmaterials.

58. Kesselspeisung. Wie für die Einrichtung und Aufstellung der Dampfkessel, so gelten auch für die Kesselspeisung bestimmte Vorschriften, welche ausser dem Grössenverhältnis insbesondere das Vorhandensein zweier voneinander unabhängigen Speisevorrichtungen vorschreiben. Sieht man von einer Handpumpe, welche nur für ganz kleine Kessel zulässig ist, ab, so hat man die Wahl zwischen Dampfbetrieb und elektrischem Betrieb. Bei Dampfbetrieb ist entweder eine Dampfpumpe oder ein saugender oder nichtsaugender Injektor gebräuchlich. Die Kuppelung der Speisepumpe mit der Betriebsdampfmaschine kommt bei Centralstationen kaum in Betracht. Da die Dampfpumpe das Vielfache des Dampfes der Betriebsdampfmaschine für die Einheit der Leistung verbraucht, der elektrische Betrieb dagegen nur

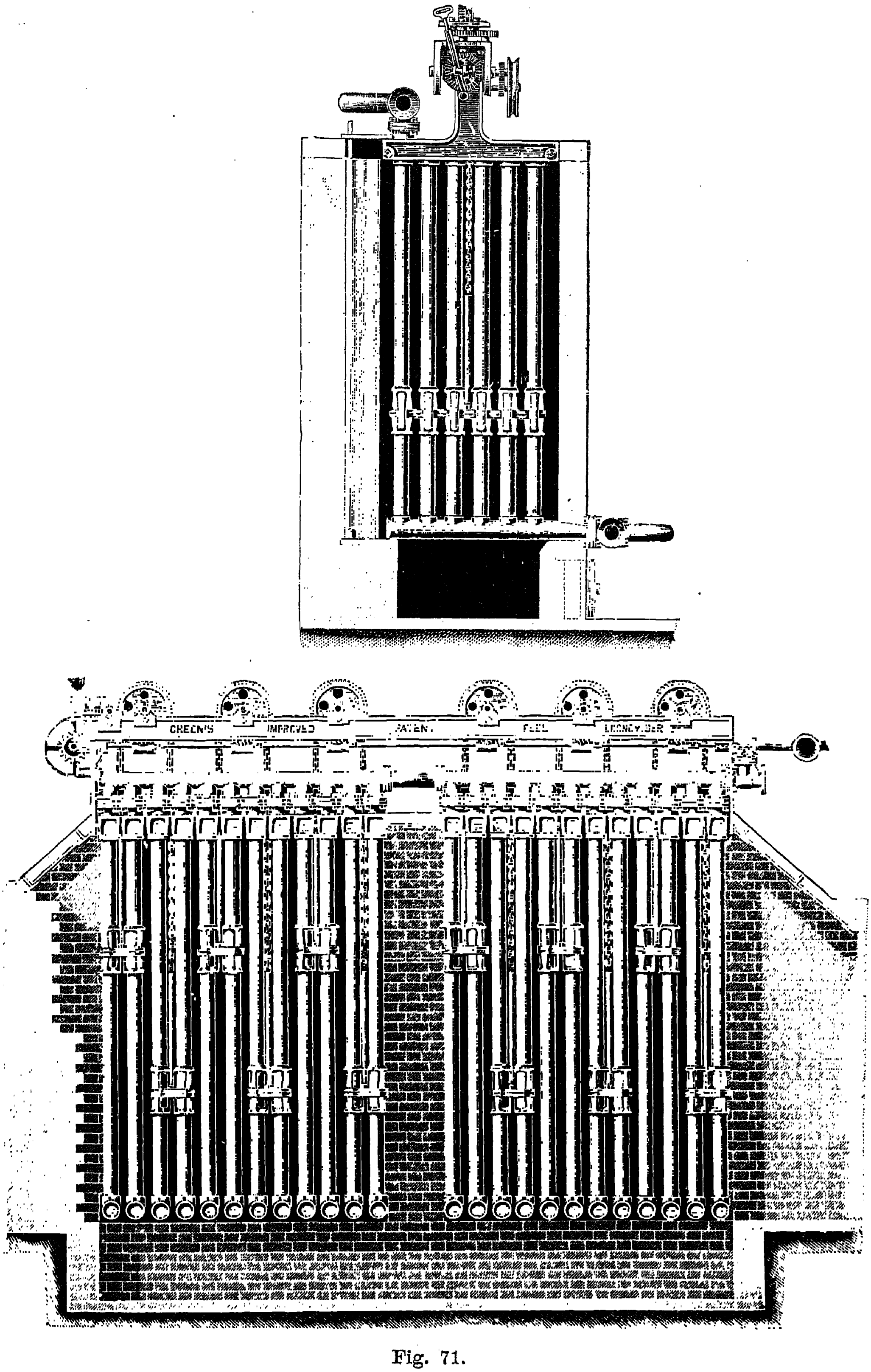


Fig. 71.

einen Verlust von wenigen Prozenten bedingt, so ist die Dampfpumpe vom wirtschaftlichen Standpunkte aus betrachtet nur zulässig, wenn der Abdampf für die Speisewasservorwärmung ausgenutzt wird, was beim Injektor, welcher ebenfalls eine hohe Dampfverbrauchsziffer aufweist, stets zutrifft.

Bei elektrischem Antrieb ist Wert darauf zu legen, dass die Tourenzahl des Motors in den weitesten Grenzen variiert werden kann, um kontinuierlich speisen zu können. Bei einer Abwägung der Vor- und Nachteile ist der höhere Anschaffungspreis der elektrisch angetriebenen Pumpen mit in

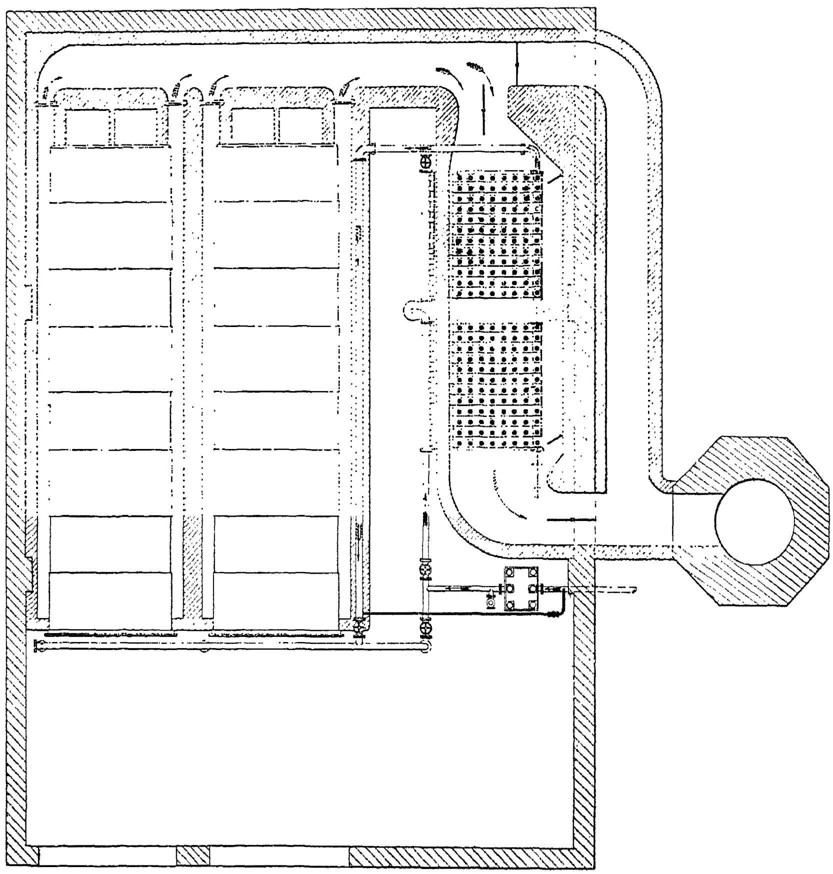


Fig. 72.

Rücksicht zu ziehen. Da bei Speisewassertemperaturen über 60° C. der Betrieb der Kolbenpumpen ein unsicherer wird, so empfiehlt es sich, bei reichlich verfügbarer Abwärme die Wärmeabgabe an das Speisewasser durch Röhren- oder Oberflächenvorwärmer, welche in die Druckleitung nach den Kesseln einzubauen sind, zu bewirken. Zur Erzielung eines rationellen Betriebes werden auch alle reinen Kondensate zweckmässig in das Speisewasserreservoir geleitet, welches durch einen Überlauf von der Ausgussleitung der Kondensatoren stets warmes, von Öl zuvor befreites Wasser erhält und von wo aus die Speisepumpen ihr Wasser entnehmen.

59. Economiser. Da die Wärme der aus dem Brennmaterial entwickelten Heizgase im Dampfkessel keine vollkommene Aufnahme findet, sondern die Heizgase nach

Verlassen des Kessels noch eine Temperatur von 250° C. und mehr aufweisen, so lässt sich zur weiteren Ausnutzung der Verbrennungswärme in den Fuchs ein System von Röhren, Economiser genannt (Fig. 71, 72 u. 73), einbauen, welches von dem Kesselspeisewasser durchflossen wird und so eine weitere Wärmeentziehung der Heizgase bis etwa 150° C., welche zur Erzielung einer hinreichenden Zugstärke übrig bleiben müssen, bewirkt. Bei einer Temperatur der Rauchgase von 275—300° C. beim Eintritt in den Economiser kann man rechnen, dass pro m^2 Heizfläche desselben etwa 30 kg Speisewasser von 25° C. bis auf 100° C. erwärmt werden können. Vorbedingung für den rationellen Einbau des Economisers ist einmal, dass das Speisewasser überhaupt noch wärmeaufnahmefähig ist, und sodann, dass die dadurch bedingte Brennstoffersparnis die Verzinsungs- und Amortisationskosten für die Economiseranlage übersteigt.

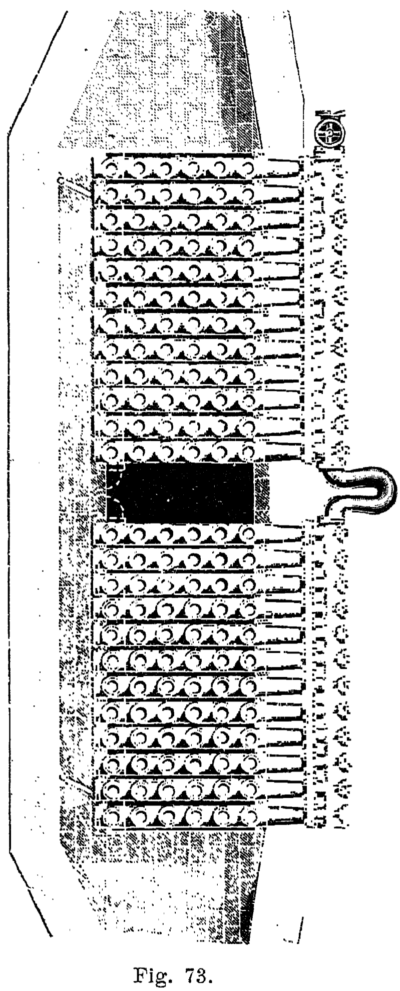


Fig. 73.

Centralstationen mit hoher Benutzungsdauer und hohen Brennstoffkosten sind daher in erster Linie zur Einführung von Economisern geeignet. Ein sekundärer Vorteil wird durch den Einbau eines Economisers dadurch herbeigeführt, dass sich im Kessel weniger Schlamm und Kesselstein absetzt, da ein Teil bereits vorher zur Ausfällung gelangt.

60. Wasser-reinigungs anlage.

Die Ausscheidung der festen Bestandteile des Kesselspeisewassers an den Dampfkesselwandungen kann nicht nur vielseitige Nachteile, sondern sogar grosse Gefahren im Gefolge haben, weshalb das Kesselspeisewasser möglichst wenig Kesselsteinbildner und Schlamm enthalten soll.

So ergiebt sich z. B. nach Versuchen der Professoren Brekinridge und Lewis bei einem Kesselsteinansatz von 1 mm ein Kohlenverlust von 10 %, der bei 5 mm starkem Ansatz bereits auf 60 % anwächst.

Eine Gefahr birgt der im Kessel gebildete Kesselstein insbesondere dann, wenn zwischen Kesselstein und Kesselwandung nicht durchweg Berührung besteht, z. B. durch abgesetztes Fett unter der Kesselsteinschicht. An dieser Stelle ist die Wärmeabgabe an das Kesselwasser unter Umständen so stark behindert, dass hier in hervorragendem Masse die Gefahr des Glühendwerdens und Ausbeulens oder gar Platzens der Kesselwandung besteht.

Um über den Zustand des Speisewassers Aufschluss zu erhalten, ist eine chemische Untersuchung unerlässlich. Ergiebt diese, dass das verfügbare Wasser für die Kesselspeisung ungeeignet ist, so ist eine Reinigung des Wassers vor-

zusehen, welche meistens mit nachfolgender mechanischer Klärung verbunden ist. Enthält das Speisewasser nur wenig Kesselstein bildende Salze, so reicht ein einfacher Zusatz von Kalk oder Soda häufig aus. Bei höheren Härtegraden dagegen wird die Ausscheidung der Kesselsteinbildner durch entsprechenden Zusatz an erforderlichen Chemikalien in besonderen Apparaten, den Wasserreinigern, vorgenommen, und zwar in der Regel unter Erhitzung des Wassers. Die Grösse dieser Apparate richtet sich naturgemäss nach der Menge des benötigten Speisewassers und der Zeitdauer, welche zur Wasserreinigung erforderlich und verfügbar ist.

61. Rohrleitungen. Zur sachgemässen Anordnung der Rohrleitungen, welche leicht zu grossen Verlusten und Betriebsstörungen Anlass geben können, empfiehlt es sich, der besseren Übersichtlichkeit wegen, einen Rohrleitungsplan, wie solchen die Tafel XV für das Elektrizitätswerk Dortmund darstellt, zu entwerfen. Entsprechend den verschiedenen Zwecken unterscheidet man Kesselspeise- und Ablassleitungen, Frischdampfleitungen, Auspuffleitungen, Wasserzu- und -abflussleitungen für die Kondensatoren der Dampfmaschinen und Entwässerungsleitungen für das aus dem Dampf kondensierte Wasser. Da eine Störung in den Rohrleitungen auf den Betrieb übergreift, so ist vor allem auf grösste Sicherheit Rücksicht zu nehmen. Es ist daher nicht nur das Material sorgfältigst auszuwählen, sondern auch die Anordnung ist so zu bewirken, dass keine schädliche Einwirkung durch die Wärmeausdehnung erfolgen kann, dass keine Wasserschläge oder Erschütterungen auftreten können, weshalb für zweckmässige Entwässerung Sorge zu tragen ist, sowie dass unnötige Druckverluste durch scharfe Krümmungen bezw. Richtungswechsel vermieden werden. Eine altbewährte Montageregel für Rohrleitungen besagt: Alle Dampfrohrleitungen sind in Richtung des Dampfes mit Gefälle anzulegen unter Vermeidung von Wassersäcken und Wasseransammlungen, dagegen sollen alle Arten von Wasserleitungen in der Richtung des Wassers ansteigend angeordnet werden. Aus Sicherheitsgründen empfiehlt es sich ferner, die wichtigsten Rohrleitungen entweder doppelt oder als Ringleitung, aber vor allem zugänglich anzulegen. Damit jeder Teil der Rohrleitung gegebenenfalls z. B. zwecks Reparatur ausser Betrieb gesetzt werden kann, ohne den übrigen Betrieb zu beeinflussen, sind Absperrventile oder Schieber am Anfang und Ende der Teilstrecken vorzusehen..

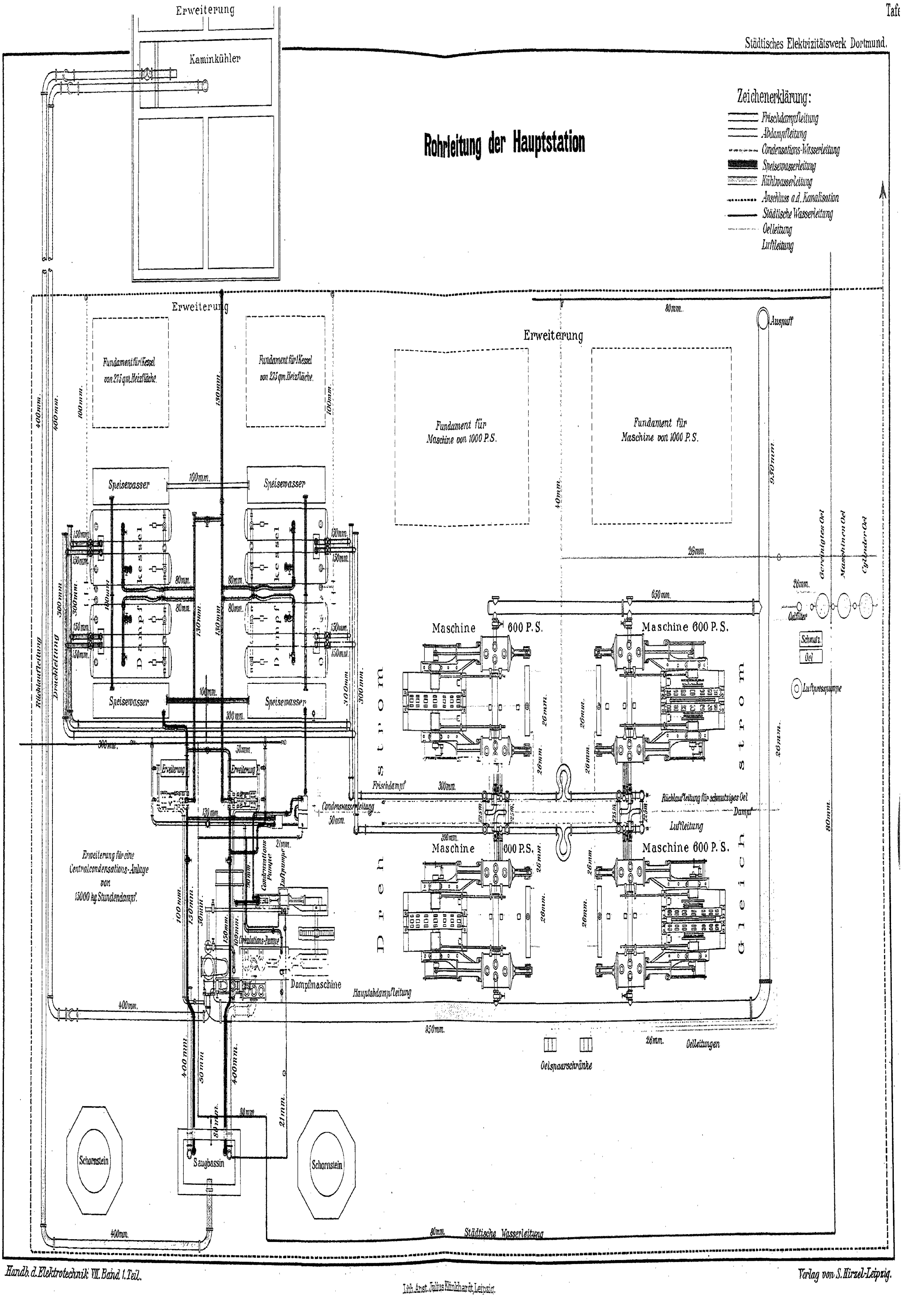
Um Verluste in den Rohrleitungen auf das denkbar kleinste Mass zu beschränken, sind namentlich die Frischdampfleitungen mit möglichst kleiner Oberfläche zu versehen, also recht kurze Leitungen zu wählen. Aus demselben Grunde arbeitet man zweckmässig mit einer hohen Dampfgeschwindigkeit, und zwar ist eine solche von 30—60 m am gebräuchlichsten. Ferner sind die Rohrleitungen zur Verminderung der Wärmeverluste mit schlecht wärmeleitenden säurefreien Materialien in hinreichender Stärke und Hitzebeständigkeit zu umhüllen.

Je höher der Dampfdruck und die Dampftemperatur gewählt werden, um so mehr Sorgfalt ist bei der Auswahl des Materials und Anordnung der Rohrleitungen[1]) zu beobachten. Für Dampftemperaturen von 300° C. und darüber bei hohem Drucke von etwa 14 Atm. empfiehlt es sich für die Rohrdurchmesser bis etwa 200 mm Mannesmannrohre mit aufgewalzten Flanschen

1) Vgl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1900, S. 1481: Hochdrucknormalien.

Städtisches Elektrizitätswerk Dortmund.

Rohrleitung der Hauptstation



Handb. d. Elektrotechnik VII. Band 1. Teil.

Lith. Anst. Julius Klinkhardt, Leipzig.

Verlag von S. Hirzel-Leipzig.

zu verwenden, während für noch grössere Durchmesser geschweisste schmiedeeiserne Rohre am Platze sind. Die Wandstärken sind mit steigendem Durchmesser stärker zu wählen, etwa zwischen 150 und 300 mm lichter Weite von $4^1/_2$ mm bis 8 mm ansteigend. Die Flanschen sowie Unterlegscheiben, Schraubenköpfe und Muttern sind allseitig abzudrehen, damit volle Auflageflächen erzielt werden. Für die Anschlusskrümmer am Überhitzer wähle man ebenfalls nur Schmiedeeisen. Das früher so beliebte Kupfer für Krümmer ist bei hohen Dampftemperaturen nicht mehr empfehlenswert. Die Ventile der Heissdampfleitungen müssen aus Stahlguss hergestellt sein und erhalten Nickelstahldichtungssitze und Stahlspindel, dagegen genügt für die Ventile in den Nassdampfleitungen Gusseisen. Die grossen Ventile von über 200 mm lichter Weite werden zweckmässig mit Umlaufventil ausgerüstet. Grosser Wert ist auch darauf zu legen, alle Rohrleitungen vor der Montage auf Güte dadurch zu prüfen, dass dieselben unter hohem Druck, etwa beim Dreifachen des Betriebsdruckes, abgehämmert werden. Die zur Entwässerung der Dampfleitungen dienenden Kondenswasserabscheider erhalten zweckmässig Umgehungen und sind hinter den Töpfen Dreiwegehähne vorzusehen, um die Abscheider prüfen zu können.

b) Dampfmaschinenanlage.

Die erforderliche Gesamtleistungsfähigkeit der Centrale ist in kleinere Einheiten zu unterteilen, damit zu jeder Zeit eine möglichst günstige Belastung der einzelnen im Betrieb befindlichen Dampfmaschinen herbeigeführt werden kann, und die erforderliche Reserve, welche zweckmässig nicht unter 20 % der Leistungsfähigkeit sämtlicher Dampfmaschinen bemessen wird, nicht zu gross bezw. kostspielig ausfällt. Diese Normierung wird naturgemäss für die erste Entwickelungsperiode des Werkes keine Gültigkeit haben. Im übrigen gilt auch hier der Grundsatz, die Einheiten so gross wie nur möglich zu wählen, weil grössere Dampfmaschinen nicht nur einen geringeren Dampfverbrauch aufweisen, sondern sich auch bezogen auf die Einheit der Leistung sowohl im Anschaffungspreis als in der Bedienung billiger stellen. 62. Grösse der Einheiten.[1])

Die Gattung und Umdrehungszahl der Dampfmaschine richtet sich zum Teil nach der verfügbaren Grundfläche. Stehende Dampfmaschinen, bei welchen zwar eine günstigere Ausbalancierung der Massen möglich ist, die aber eine umständlichere und zeitraubendere Demontage bei etwa erforderlichen Reparaturen erheischen, verwendet man vorwiegend, um auf kleiner Grundfläche eine grosse Maschinenleistung unterzubringen. Ebenso fällt der benötigte Raum um so geringer aus, je schneller die Maschinen laufen, da die Tourenzahl von Einfluss auf die Dimensionen der Dampfmaschine ist. Da aber Kolben-Dampfmaschinen mit hohen Umdrehungszahlen höheren Dampfverbrauch aufweisen, als solche für normale Geschwindigkeiten, die Elektrizitätswerke jedoch bei der gesteigerten Konkurrenz durch Kraftmaschinen für Einzelanlagen alles daran setzen müssen, um so rationell wie nur irgend möglich zu arbeiten, so kann nur in geringen Ausnahmen, namentlich bei sehr billigem Feuerungsmaterial, wenn grosser Wert auf ein geringes Anlagekapital gelegt werden muss, zur Wahl der unwirtschaftlicher arbeitenden Schnellläufer geraten werden. Dabei ist das Moment der geringen Betriebs- 63. Gattung und Tourenzahl.

1) Vgl. S. 106.

sicherheit schnell laufender Dampfmaschinen noch gänzlich unberücksichtigt gelassen.

Die gleichen wirtschaftlichen Gründe verbieten auch die Wahl von Auspuffdampfmaschinen, und es kommen für Elektrizitätswerke lediglich Kondensationsdampfmaschinen in Frage, falls nicht statt der Kondensation eine anderweitige Nutzbarmachung des verbrauchten Dampfes, wie z. B. durch Abwärmekraftmaschinen[1]) vorgenommen wird.

Die meiste Verbreitung in Elektrizitätswerken gefunden und sich am besten bewährt hat unstreitig die Verbunddampfmaschine für Dampfspannungen von 8—10 Atm. und bei Tourenzahlen von 80—150 je nach der Grösse. Erst bei Einheiten von über 1000—1500 PS empfiehlt es sich, Mehrfachexpansionsdampfmaschinen zu wählen bei gleichzeitiger Steigerung der Eintrittsdampfspannung auf 12—14 Atm. und unter Anwendung von überhitztem Dampf, der sich übrigens für jede Grösse empfiehlt.

Der elektrische Centralstationsbetrieb mittels Dynamomaschinen erfordert nicht nur eine gleichbleibende Umdrehungszahl, sondern es soll auch selbst die Winkelgeschwindigkeit innerhalb einer Umdrehung eine gleichförmige sein, da jede momentane Geschwindigkeitsänderung der Ankerwicklung eine Änderung der elektromotorischen Kraft verursacht und daraus wiederum Pulsationen der Lichtstärke der elektrischen Lampen resultieren. Da nun aber jede Kolbendampfmaschine selbst als Compound- und Mehrfachexpansionsmaschine mit versetzten Kurbeln eine ungleichförmige Kraftäusserung auf die Welle ausübt und somit ungleichförmige Winkelgeschwindigkeit bedingt, so muss die erforderliche Gleichförmigkeit der rotierenden Bewegung durch entsprechende Schwungmassen, welche natürlich bei direkt gekuppelten Dynamos auch in den rotierenden Teil der letzteren gelegt werden können, herbeigeführt werden.

Die zulässige Grösse des Ungleichförmigkeitsgrades richtet sich nach dem Verwendungszweck und kann z. B. bei Riemenantrieb $^1/_{100}$—$^1/_{75}$, bei direkter Kupplung der Dampfmaschine mit einer Gleichstromdynamo $^1/_{175}$ bis $^1/_{150}$ und bei direkter Kupplung von Ein- oder Mehrphasengeneratoren wegen der höheren Anforderungen, welche hier ein einwandsfreier Parallelbetrieb stellt, $^1/_{300}$—$^1/_{250}$ betragen.

64. Steuerung und Regulierung. Von besonderer Wichtigkeit für einen sparsamen Dampfverbrauch, sowie für die einwandsfreie Konstanz der Geschwindigkeit und namentlich für tadellosen Parallelbetrieb von Ein- und Mehrphasengeneratoren sind die Steuerungs- und Regulierungsorgane der Dampfmaschinen. Es ist daher diesem Teil der Lieferung eine erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen. Eine gute Steuerung soll eine vom Regulator beeinflusste veränderliche Expansionssteuerung sein und vor allem ausser einfacher Gliederung ein exaktes Schliessen und Öffnen der Ein- und Ausströmungsorgane bewerkstelligen, was namentlich bei gesteigerten Tourenzahlen am leichtesten vermittelst zwangläufiger Ventil- oder Corlisssteuerung für den Hochdruckzylinder erreicht wird.

Der Regulator soll entweder direkt auf der Maschinenwelle angeordnet sein oder von dieser durch Zahn- oder Schneckenräder angetrieben werden und zur Erreichung der höchsten Empfindlichkeit indirekt unter Vermittelung eines Übertragungsmechanismus wirken. Die Regulierfähigkeit soll so sein,

---

1) Siehe S. 113 u. 146.

dass bei plötzlicher voller Entlastung keine Geschwindigkeitsänderung von mehr als 5—6 % auftritt, sowie, dass bei Belastungsschwankungen von etwa 25 % eine Tourenänderung von höchstens 1½—2 % sich einstellt. Eine Beunruhigung des Ganges durch Überregulieren darf nicht eintreten, auch muss der Regulator selbst bei Leerlauf und voll geöffnetem Ventil einwandsfrei funktionieren. Für Wechselstrombetrieb ist ferner die Forderung zu stellen, dass während des Ganges mit Hilfe einer Stellvorrichtung eine Veränderung der Tourenzahl um ± 5—6 % ermöglicht wird.

65. Dampfturbinen.

In jüngster Zeit hat der Dampfturbinenbau derartig bemerkenswerte Fortschritte gemacht, dass bei Projektierung einer Dampfcentrale die Aufstellung von Dampfturbinen ernstlich in Erwägung gezogen werden sollte, da dieselben ganz bemerkenswerte Vorteile gegenüber den Kolbendampf-

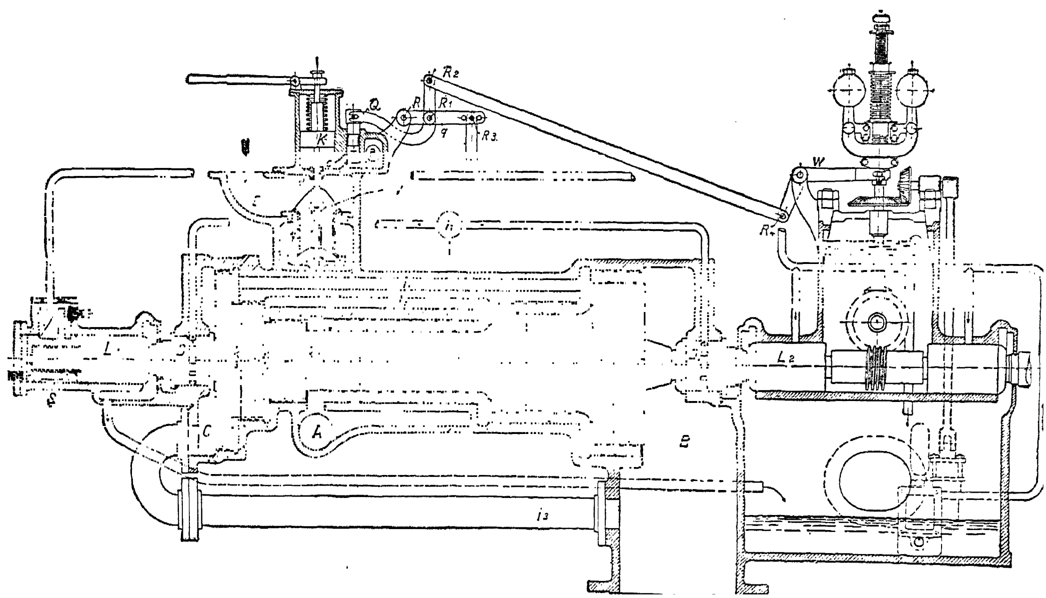


Fig. 74.

maschinen besitzen. Hierher gehört zunächst die vollständig gleichförmige Winkelgeschwindigkeit, sodann der Fortfall aller Reibungsflächen mit Ausnahme der Lager, ferner ein äusserst einfacher Aufbau, und infolge der hohen Tourenzahlen eine sehr geringe Rauminanspruchnahme, dann die Möglichkeit, hoch überhitzten Dampf ohne schädliche Folgen zur Anwendung gelangen zu lassen, ferner, dass das Kondensationswasser, da dasselbe frei von Öl bleibt, direkt zur Kesselspeisung benutzbar ist und schliesslich grosse Regulierfähigkeit sowie eine äusserst geringe Wartung. Rechnet man noch hinzu, dass die Dampfturbinen in wirtschaftlicher Beziehung schon jetzt den besten Compounddampfmaschinen wenn nicht überlegen so doch mindestens gleichwertig sind, selbstverständlich ebenfalls in Verbindung mit Kondensation, so erkennt man leicht, dass die Dampfturbinen berufen zu sein scheinen, die vorwiegende Betriebskraftmaschine der Zukunft für Elektrizitätswerke zu werden.

Die wichtigsten für die Praxis in Frage kommenden Turbinenkonstruktionen sind die von Laval, Parsons, Rateau, Curtis, Zoelly, Riedler-

Stumpf und Lewicki. Abgesehen von den Lavalschen Turbinen,[1]) welche ausserordentlich hohe Tourenzahlen, bis zu 30000 in der Minute, machen müssen, um einen günstigen Wirkungsgrad zu erhalten, haben die übrigen Konstrukteure bereits Umlaufzahlen erzielt, welche nicht nur einen durchaus sicheren Betrieb gewährleisten, sondern für welche auch die Konstruktion grösserer, direkt zu kuppelnder Dynamos keine unüberwindlichen Schwierigkeiten mehr bietet. Eine hinreichende Erniedrigung der Umdrehungszahl wird am wirksamsten und vorteilhaftesten erreicht durch vereinigte Druck- und Geschwindigkeitsabstufungen.

In Fig. 74 ist eine Dampfturbine, System Brown, Boveri, Parsons in schematischer Darstellung gegeben, aus der die gesamte Anordnung ohne Schwierigkeiten zu entnehmen ist. Bei A tritt der Dampf in den gusseisernen Zylinder ein und expandiert von Schaufelkranz zu Schaufelkranz bis zum Dampfaustritt bei B, wobei entsprechend der Zunahme des Dampfvolumens die Stahlwalze mit den Schaufelkränzen in drei Stufen an Durchmesser zunimmt und so der Dampfströmung innerhalb der Turbine dem stetig wachsenden Dampfvolumen gemäss einen zunehmenden Querschnitt bietet, ähnlich wie es bei einer Dreifach-Expansionsdampfmaschine der Fall ist. Zur Ausgleichung des entstehenden axialen Druckes sind auf dem linken Walzenteil AC drei Kolben k_1 k_2 k_3 angeordnet, deren Zwischenräume durch Kanäle i_1 i_2 i_3 mit den Abstufungsstellen der Walze AB in Verbindung stehen und dadurch die Welle vom axialen Druck vollständig entlasten. Ausserdem sind zur Fixierung der Lage der Welle noch Kammlager vorgesehen. Bei D, woselbst die Welle aus dem Zylinder heraustritt, ist eine Labyrinthdichtung ausgeführt. Die Lagerung der Welle befindet sich ganz ausserhalb bei L_1 und L_2. Hierdurch ist erreicht, dass sich innerhalb der Dampfräume keinerlei Reibungsstellen befinden. Selbstverständlich müssen auch bei einer Turbine je nach der Belastung die in den Dampfzylinder einzulassenden Dampfmengen reguliert werden. Dies geschieht dadurch, dass ein am Dampfeintritt befindliches Ventil in gleichmässig schneller Aufeinanderfolge fortwährend geöffnet und geschlossen wird, und dass dieses Ventil bei grösserer Belastung und grossem Dampfverbrauch bei jeder Auf- und Abbewegung längere Zeit geöffnet und kürzere Zeit geschlossen, dagegen bei geringer Belastung und kleinem Dampfverbrauch kürzere Zeit geöffnet und längere Zeit geschlossen bleibt.

Der Dampf tritt also nicht kontinuierlich in A ein, sondern stossweise, in einzelnen Admissionen, deren Anzahl je nach Grösse der Turbine etwa 150—250 in der Minute beträgt und deren Dauer entsprechend der jeweiligen Belastung durch die Wirkung des Regulators grösser oder kleiner eingestellt wird. Dieser Vorgang entspricht im Prinzip der Veränderung des Füllungsgrades bei der Kolbendampfmaschine.

66. Bauliche Anordnung. Wie das Kesselhaus, so soll auch das Maschinenhaus hell und luftig angelegt werden. In einer Höhe, welche der grössten jemals zur Aufstellung gelangenden Maschine genügt, wird zweckmässig ein Laufkran angeordnet, dessen Tragkraft sich nach dem schwersten Teil der Maschinen richtet. Je kleiner die Höhe der Antriebsmaschinen ist, also namentlich bei liegenden Dampfmaschinen und Dampfturbinen, um so leichter könnte man in den schweren Fehler verfallen, durch entsprechende Verringerung der Bauhöhe

1) Vgl. Electrician, London 1904, S. 777.

an Baukosten sparen zu wollen. Unter Umständen könnte auf diese Weise jedoch der Aufenthalt für das Bedienungspersonal zur Unmöglichkeit werden, denn die Summe aller Energieverluste, welche mindestens 20 % von der in Betrieb befindlichen Maschinenleistung beträgt, tritt in Form von Wärme wieder in die Erscheinung, wozu auch die ausstrahlende Wärme von Rohrleitungen u. s. w. zu rechnen ist, und muss natürlich für deren hinreichende Abführung Sorge getragen werden, damit die Temperatur eine erträgliche bleibt. Sind hierfür aber die normalen Abkühlungsflächen, wie Fenster und Wände im Verein mit im Dach angebrachten Ventilationsklappen nicht ausreichend, so muss zu energischer Luftzirkulation durch mechanische Hilfsmittel gegriffen werden, wodurch unzulässiger Zugwind entstehen würde. Unter ein bestimmtes Mass an Rauminhalt darf also selbst bei schnell laufenden Dampfmaschinen nicht heruntergegangen werden.

Aber auch die Ausnutzung der Grundfläche darf nicht übertrieben werden, damit hinreichende Bedienungsgänge sowie Platz zum Ablegen von Maschinenteilen bei Reparaturen verbleibt, auch ist sowohl genügender Raum für die Dampf-, Wasser- und Kondensleitungen, als auch für die elektrischen Verbindungsleitungen vorzusehen. Ferner ordnet man meistens die Maschinenschalttafeln im Maschinenhaus an, wofür ebenfalls Platz geschaffen werden muss. Ebenso ist für die Unterbringung der Kabelschalttafeln, für welche im allgemeinen Kellerräume genügen, Sorge zu tragen. Schliesslich dürfen auch die erforderlichen Nebenräume, wie Bureau, Lager für Öl, Putzmaterial u. s. w., sodann Mannschaftsraum, Wasch- und Baderaum, Werkstatt, und zwar alles in möglichster Nähe des Maschinenhauses, nicht vergessen werden. Sehr interessant sind die Ziffern,[1]) welche neuerdings bei Dampfturbinenanlagen in bezug auf Ausnutzung der Grundfläche erhalten sind. So beträgt z. B. bei der neuen Anlage der Boston Edison Co. für zwölf Curtisturbinen die in Anspruch genommene Maschinenhausgrundfläche nur 0·07 m^2 pro Kilowatt, während für die gleiche Leistung an Kesselhausgrundfläche 0·15 m^2 erforderlich sind.

Nicht immer ist es möglich, das nicht unerhebliche Kühlwasserquantum, welches zur Kondensation benötigt wird und welches etwa das 25—40fache des Gewichtes des zu kondensierenden Dampfes ausmacht, einem Flusslauf oder ergiebigen Brunnen zu entnehmen, in welchem Falle auf stete Wiederverwendung des Wassers Bedacht genommen werden muss, was dadurch geschehen kann, dass dem benutzten Wasser die aufgenommene Wärme wieder entzogen wird. Hierzu dienen die Rückkühlanlagen[2]) oder Gradierwerke (Fig. 75), welche das warme Wasser in möglichst feiner Verteilung und Erzielung einer grossen Abkühlungsoberfläche einem zweckmässig durch einen Kamin erzeugten Luftzug aussetzen, wobei ein Teil des Wassers unter Wärmebindung verdunstet und so die Kühlung des Restes bewirkt. Das hierbei abgekühlte Wasser gelangt in einen Sammelbehälter, von dem aus die Kondensatorpumpen ihren Bedarf entnehmen. Die Differenz zwischen dem durch Verdunstung verlorenen Wasserquantum und der aus dem Dampf niedergeschlagenen Menge stellt den Wasserverbrauch dar, für dessen Ersatz Sorge zu tragen ist. Ferner ist der Arbeitsaufwand zur feinen Verteilung des Warmwassers, welcher durch möglichst geringe Fallhöhe zu beschränken ist, als Verlust mit in Kauf zu nehmen.

67. Rückkühlanlage.

1) Vgl. Zeitschrift für Elektrotechniker, Wien 1905, S. 2.
2) Vgl. auch Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1905, S. 5.

68. Lokomobilen. Die Lokomobilen sollten ursprünglich, wie schon der Name andeutet, lediglich eine fahrbare Dampfkraftanlage darstellen, da jedoch deren charakteristische Eigenschaft in der Kombination eines Dampfkessels mit der Dampfmaschine zu einem einheitlichen Ganzen liegt, so bezeichnet man in der Technik mit Lokomobile, unabhängig davon, ob dieselbe fahrbar ist oder nicht, jeden einheitlichen Zusammenbau von Dampfkessel- und Dampfmaschinenanlage.

Auch für Lokomobilcentralen, welche am Platze sind, sofern es sich um Maschineneinheiten handelt, deren Grösse 200—300 PS nicht überschreitet, gelten dieselben Gesichtspunkte wie bei allen Dampfcentralen, d. h. aus wirtschaftlichen Gründen ist auf höchste Ökonomie zu sehen und daher Compoundlokomobilen mit Kondensation und wenn möglich mit Überhitzung zu wählen. So ausgerüstet ergeben die Lokomobilen neben geringen Bedienungskosten eine sehr hohe Ausnutzung des Brennmaterials, dem vor allem die infolge des engen Zusammenbaues und Fortfall längerer Rohrleitungen erzielte Verminderung der Wärmeverluste zugute kommt, und sind diese Maschinen den besten Generatorgasmaschinen in wirtschaftlicher Beziehung sogar noch überlegen.

Ein weiterer Vorteil der Lokomobilcentralen besteht darin, dass die Gebäudekosten durch die geringe Rauminanspruchnahme infolge der Verschmelzung von Maschinen- und Kesselhaus sehr niedrig ausfallen. Um auch die Gesamtanlagekosten möglichst niedrig zu halten, sowie zur Fernhaltung von dem im Betrieb unvermeidlich auftretenden Kohlenstaub und Schmutz von den Dynamos, empfiehlt es sich, von einer direkten Kupplung der letzteren abzusehen und Riemenantrieb zu wählen, wie solches z. B. das Projekt einer Lokomobilcentrale von R. Wolf-Magdeburg (Fig. 76 u. 77) erkennen lässt.

Einen grossen Vorteil bietet namentlich bei kesselsteinhaltigem Speisewasser die von der Firma R. Wolf getroffene Anordnung, wobei die Feuerbuchse samt dem Heizröhrensystem sich behufs Reinigung aus dem Kessel herausziehen lässt.

69. Abwärmekraftmaschinen. Die Abwärmekraftmaschinen sind gewissermassen Zusatzmaschinen bei Dampfanlagen, welche die sonst nutzlosen, aus den Kondensatoren der Dampfanlagen abgeführten Wärmemengen bis zur Kühlwassertemperatur ausnutzen; für die gewonnene Arbeit, welche sich auf etwa 30 % der Dampfmaschinenleistung beläuft, sind daher keine Kosten für Brennmaterialien aufzuwenden. Die Betriebskosten setzen sich lediglich aus den Kosten für die Wartung, Schmierung und Unterhaltung zusammen. Die Anlagekosten einer Abwärmekraftanlage sind jedoch der grossen Oberflächenapparate wegen um etwa 20 % höher als die einer gleichstarken Dampfmaschine mit Kesselanlage. Hieraus folgt, dass eine Abwärmekraftanlage nur dort am Platze ist, wo es sich um hohe Kohlenpreise handelt oder aber bei Anlagen mit langer Betriebszeit.

Die Abwärmekraftmaschinen können als Zusatzmaschinen an vorhandene Dampfmaschinenanlagen ausgeführt werden, oder, wie bei Neuanlagen vorzuziehen ist, als kombinierte Maschinen dienen, d. h. der Kaltdampfzylinder arbeitet mit den Dampfzylindern auf eine Kurbelwelle.

Die einzelnen Teile der Abwärmekraftanlage bestehen aus: dem Verdampfer, der Kaltdampfmaschine und der Kondensationsanlage (Fig. 78).

Der Verdampfer stellt ein aus nahtlosen Stahlrohren gebildetes Rohrsystem dar, durch das der von der Dampfmaschine austretende Abdampf

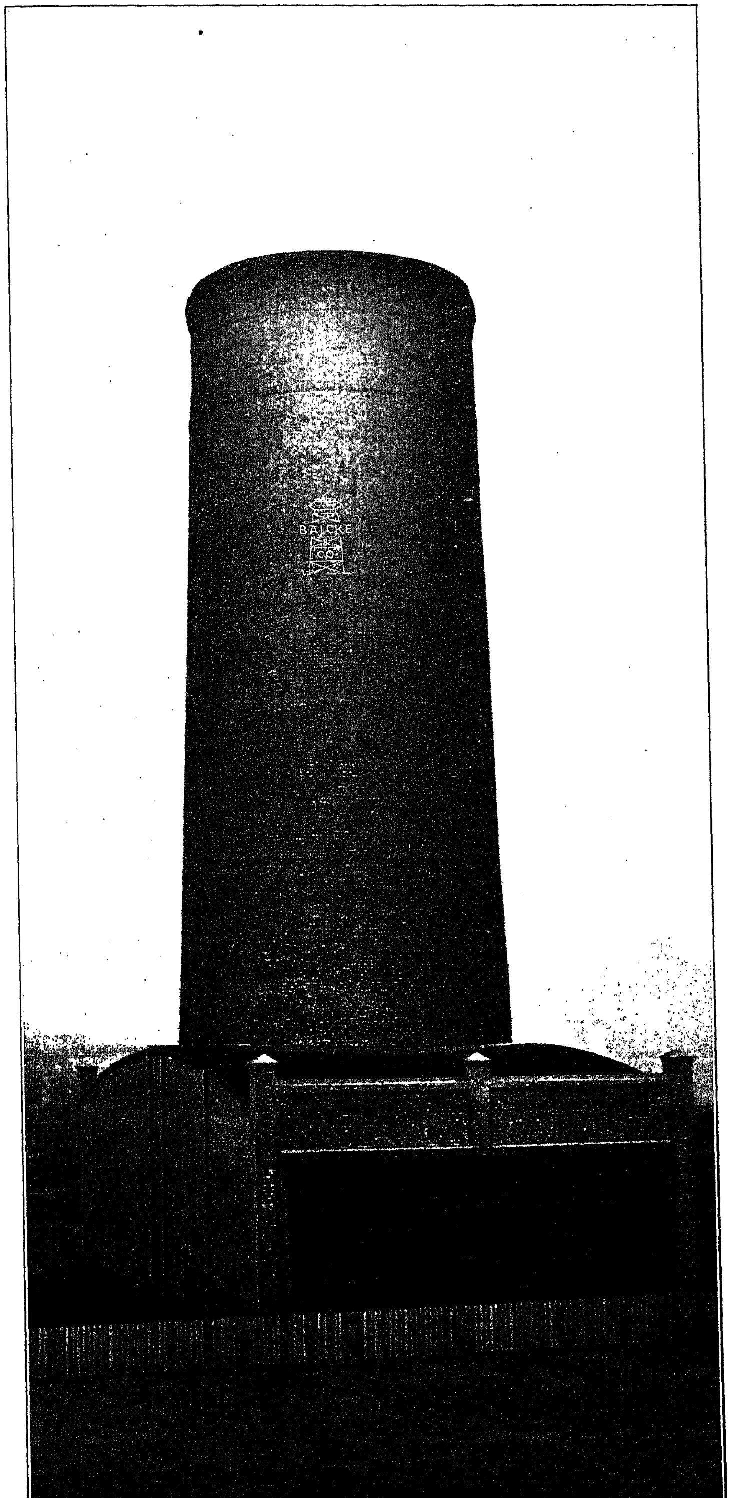
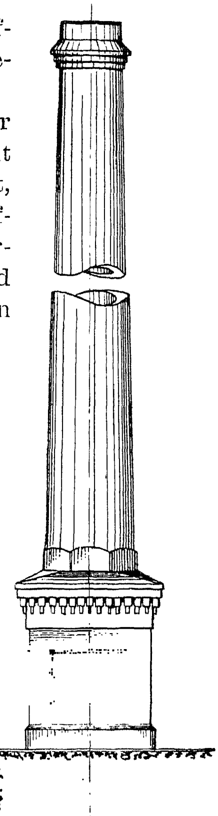


Fig. 75.

streicht, um hier kondensiert zu werden, wobei die Kaltdampfflüssigkeit durch die von dem Wasserdampf abgegebene Wärmemenge verdampft wird.

Die so gebildeten Kaltdämpfe aus Ammoniak oder schwefliger Säure (die bis jetzt gebauten Maschinen arbeiten sämtlich mit Schwefligsäure) werden nach einer Kolbenmaschine geleitet, welche ihrer Konstruktion nach einer gewöhnlichen Dampfmaschine entspricht. Da auf die Abdichtungen wegen der Giftigkeit der Dämpfe grosse Sorgfalt gelegt werden muss, so sind dieselben etwas abweichend von den bei den Dampfmaschinen üblichen Konstruktionen ausgeführt.



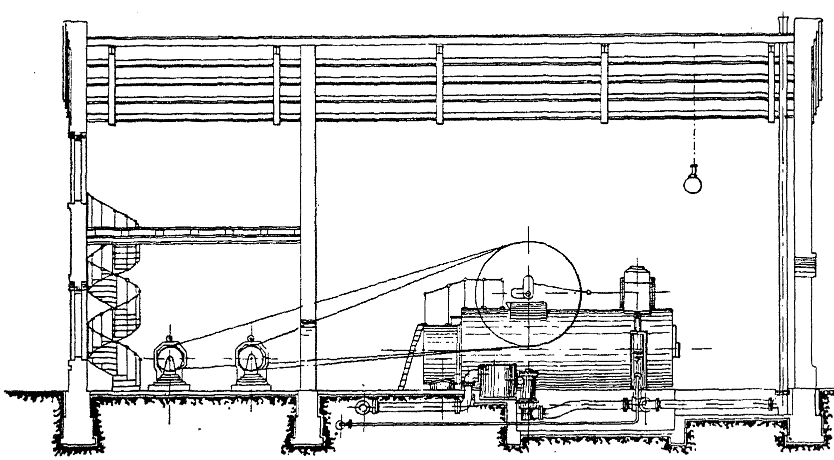


Fig. 76.

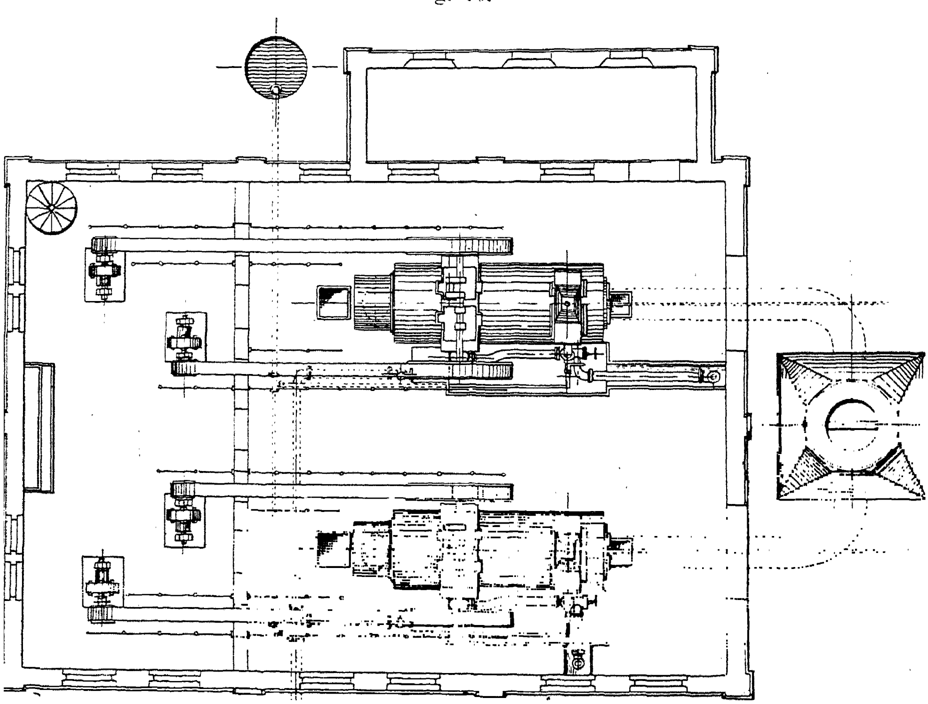


Fig. 77.

Die aus der Kaltdampfmaschine austretenden Dämpfe werden durch die Rohre eines Kondensators, von gleicher Konstruktion wie der Verdampfer, geleitet und dort durch zirkulierendes Kühlwasser kondensiert. Durch eine kleine Pumpe wird die kondensierte Flüssigkeit aus dem Kondensator abgezogen und in den Verdampfer zurückgepumpt, um den Kreislauf von neuem zu beginnen. Der Kühlwasserverbrauch stellt sich um etwa 10—30 % höher als derjenige, welchen die Hauptdampfmaschine erfordern würde.

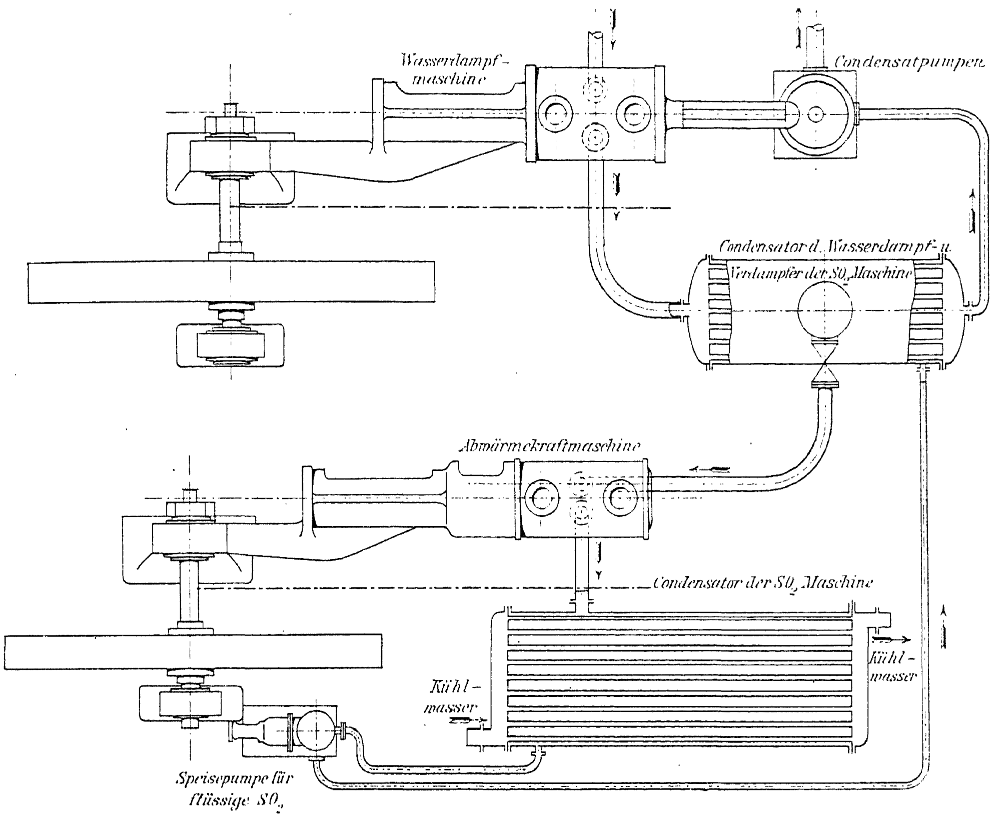


Fig. 78.

II. Gaskraftanlagen.[1])

70. Allgemeines. Der höhere thermische Wirkungsgrad der Gasmaschinen gegenüber den Dampfmaschinen, sowie die grosse technische Vervollkommnung, welche die Gasmaschinen erlangt haben, hat deren Einführung auch bei Elektrizitätswerken in hohem Grade gefördert. Seitdem es gelungen ist, die Selbstbereitung des erforderlichen Kraftgases in befriedigender und ökonomischer Weise zu bewirken, sind insbesondere bei Städten kleinen und mittleren Umfanges beachtenswerte Erfolge erzielt, welche es bei der Projektierung eines neuen Elektrizitätswerkes zur Pflicht machen, auch die Gasmaschine als Antriebsmaschine in ernste Erwägung zu ziehen.

1) Vgl. GÜLDNER, Entwerfen und Berechnen der Verbrennungsmotoren.

71. Leuchtgas-centralen. Jedenfalls die einfachste Gaskraftanlage, welche noch den Vorteil steter Betriebsbereitschaft besitzt, ist diejenige, welche zum Betrieb der Gasmaschinen Leuchtgas aus einer vorhandenen Gasanstalt benutzt. Bekanntlich bildet das Leuchtgas in Verbindung mit einem bestimmten Quantum Luft ein explosibles Gasgemisch, dessen Druckwirkung in der Gasmaschine ausgenutzt wird. Da diese Druckwirkung eine wesentliche Steigerung erfährt, und ein ökonomischerer Betrieb erzielt wird, wenn das explosible Gasgemisch in komprimiertem Zustande zur Verbrennung gelangt, so arbeiten alle modernen Gasmaschinen als Kompressionsmaschinen. Beim Betrieb einer solchen Maschine unterscheidet man vier Arbeitsperioden, und zwar 1. die Ansaugung des Gasgemisches, 2. die Komprimierung desselben, 3. die Entzündung und Kraftleistung und 4. die Ausstossung der Verbrennungsprodukte. Diese vier Perioden wurden zuerst von der Deutzer Gasmotorenfabrik durch denselben Kolben in zwei vollen Umdrehungen der Kurbelwelle, also in vier aufeinanderfolgenden Hüben bewirkt, indem der Zylinder mit seinem Kolben beim ersten Hingang als Saugpumpe, beim darauffolgenden Rückgang als Kompressionspumpe, beim zweiten Hingang als Kraftmaschine und beim zweiten Rückgang als Auslasspumpe dient. Nach diesen regelmässig aufeinander folgenden vier Vorgängen nennt man eine solche Arbeitsweise das Viertaktsystem.

Die wichtigsten Organe der Gasmaschine sind:

1. die Mischapparate, welche dazu dienen, dem Arbeitszylinder stets das richtige Mischungsverhältnis von Luft und Gas zuzuführen,

2. die Zündvorrichtung, deren wesentlichster Teil entweder eine Zündflamme, ein Glühkörper oder der elektrische Funken ist,

3. das Auslassventil, welches die Verbrennungsprodukte aus dem Zylinder ins Freie entlässt, und endlich

4. der Geschwindigkeitsregulator mit dem Steuerungsmechanismus, welchem die Aufgabe zufällt, unter Konstanterhaltung einer gleichmässigen Umdrehungsgeschwindigkeit den Gasverbrauch entsprechend der Belastung der Maschine einzustellen. Infolge der eigenartigen Arbeitsweise der Gasmaschinen, welche beim Viertaktsystem nur nach jeder zweiten Umdrehung eine heftig auftretende und hohe Beanspruchung des Materials bedingende Arbeitsleistung herbeiführt, ist es zur Erzielung der erforderlichen gleichförmigen Winkelgeschwindigkeit namentlich bei direkter Kupplung der Dynamos notwendig, erhebliche Schwungmassen einzufügen.

In dieser Hinsicht bieten die Maschinen nach dem Zweitaktsystem oder in der Oechelhäuserschen Konstruktion wesentliche Vorteile. Die Erhaltung einer gleichmässigen Geschwindigkeit verbietet auch die früher vorwiegend benutzte Methode, bei der eine Regulierung durch entsprechende Auslassung von Explosionen herbeigeführt wurde.

Da die Verbrennungsprodukte aus sehr heissen Gasen bestehen, so ist für eine künstliche Kühlung des Zylinders und des Auslassventils Sorge zu tragen, welche in der Regel durch einen Wassermantel bewirkt wird.

Für die Kühlvorrichtung wird zweckmässig im Anschluss an eine Wasserleitung oder mit Hilfe einer Pumpe Druckwasser verwendet, dessen Abgangstemperatur nicht über 70° C. steigen soll; nur da, wo solches nicht zu beschaffen ist, wird für Rückkühlung und Zirkulation des Wassers Sorge zu tragen sein.

Ausser der Kühlanlage kommen an Nebenapparaten in Betracht: Gummibeutel, Gasdruckregulator, Gasuhr, Einlass- und Auspufftopf.

Der Gummibeutel hat den Zweck, einen Ausgleich des Gasdruckes herbeizuführen, was namentlich im Interesse eines gleichmässigen Gasgemisches von Wichtigkeit ist. Es soll der Inhalt des aufgeblähten Gummibeutels für etwa 10—15 Füllungen der Maschine ausreichen. Zur Unterstützung der Wirkung des Gummibeutels und um durch die Saugwirkung der Gasmaschine nicht die von demselben Gasrohrstrang gespeisten benachbarten Gasflammen in empfindlicher Weise zu stören, sowie ferner um das Anlassen der Gasmaschine zu erleichtern, empfiehlt sich die Einfügung eines Gasdruckregulators, dessen Wirkungsweise ähnlich der eines Reduzierventils ist. Selbstverständlich bleibt der beste Gasdruckregulator wirkungslos, wenn die Strassenleitung zu schwach dimensioniert ist, weshalb die erforderlichen Ermittlungen unter Berücksichtigung des späteren Ausbaues anzustellen sind. Grosse, von der Gasanstalt entfernt liegende Centralstationen mit Gasmaschinenbetrieb sind unter Umständen gezwungen, einen eigenen Gasstrang zu beschaffen.

Der Zweck des Einlasstopfes ist vornehmlich der, die Unreinigkeiten, wie Staubteile der Luft, zurückzuhalten, während der Aus-

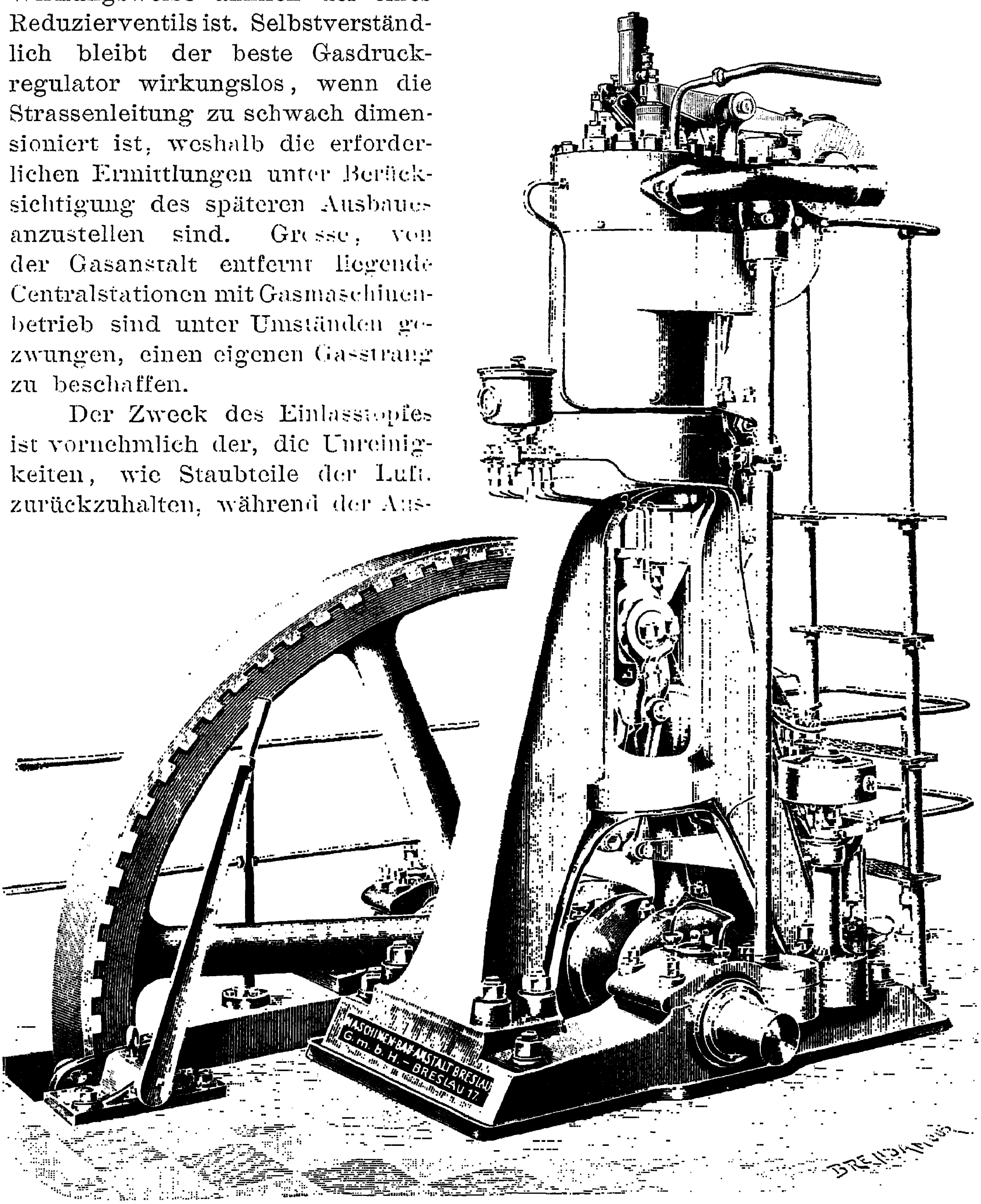


Fig. 79.

pufftopf sowohl als Sammelbehälter für das in der Auspuffleitung sich bildende Kondenswasser dient, als auch zur Milderung des Auspuffgeräusches benutzt wird. Aus diesem Grunde muss derselbe hinreichenden Fassungsraum besitzen, auch mit Ablasshahn versehen sein. In vielen Fällen wird erst durch Hintereinanderschaltung mehrerer Auspufftöpfe die gewünschte Wirkung erzielt.[1])

Zur Ingangsetzung einer Gasmaschine ist es erforderlich, dieselbe zuvor anzudrehen, was nur bei kleineren Motoren von Menschenhand erfolgen kann. Für grössere Gasmaschinen ist es üblich, das Andrehen mit Hilfe von Pressluft oder aber beim Vorhandensein einer Akkumulatorenbatterie durch die als Motor geschaltete Dynamo zu bewirken. Im letzteren Falle genügt es, zum Anlassen wenige Regulierzellen zu benutzen, so dass besondere Hilfsapparate entbehrlich werden.

Der wesentlichste Hinderungsgrund zur allgemeineren Einführung des Gasmaschinenbetriebes mit Leuchtgas bei Centralstationen ist der relativ hohe Preis des letzteren, welcher eine niedrige Bemessung des Strompreises, wie solche bei den modernen, prosperierenden Werken allgemein üblich ist, verbietet. Dagegen dürfte die Aufstellung einer mit Leuchtgas zu betreibenden Gasmaschine als Reservemaschine, welche auch beim Wintermaximum für die kurze Zeit der höchsten Belastung herangezogen werden kann, durchaus am Platze sein, sofern hierdurch Ersparnisse zu erzielen sind, oder sofern die Raumverhältnisse für die Wahl einer Gasmaschine als Reservemaschine sprechen.

72. Centralen mit Diesel-Motoren.

Der DIESEL-Motor[2]) (Fig. 79) ist ein Wärmemotor, dessen Arbeitsverfahren darin besteht, dass entgegen der bei Gasmaschinen üblichen Weise die höchste Temperatur nicht durch die Verbrennung des Brennstoffes erfolgt, sondern lediglich durch mechanische Kompression reiner atmosphärischer Luft, welche durch den Kolben des Arbeitszylinders auf etwa 35 Atmosphären zusammengedrückt wird. Die durch diese Kompression erzeugte Temperatursteigerung liegt bedeutend über der Entzündungstemperatur des verwendeten Brennstoffes, als welcher vorwiegend Paraffinöl, Gasöl, Rohöl oder Petroleum benutzt wird. Der flüssige Brennstoff wird in fein verteiltem Zustande allmählich in die stark komprimierte Luft durch eine besondere Pumpe eingeführt und entzündet sich ohne Anwendung einer mechanischen Zündvorrichtung. Die folgende Volumenvergrösserung der mit den Verbrennungsgasen gemischten Luft bewirkt, dass eine weitere wesentliche Temperatursteigerung des Gemisches nicht eintritt und die Verbrennungswärme ganz in mechanische Arbeit umgesetzt wird. Je höher die Kompression getrieben werden kann, um so grösser fällt der thermische Wirkungsgrad aus, welcher bei 35 Atmosphären sich zu etwa 35 % ergiebt.

In einem einfach wirkenden Arbeitszylinder geht der Arbeitsprozess nach dem Viertaktsystem vor sich, indem beim ersten Hingang des Kolbens ein Ansaugen von atmosphärischer Luft stattfindet. Beim ersten Rückgang des Kolbens wird die angesaugte Luft komprimiert, und darauf erfolgt die Einführung des Brennstoffes, welcher verbrennt und alsdann beim zweiten Hingang des Kolbens die Arbeitsleistung bewirkt. Der zweite Rückgang des Kolbens veranlasst die Ausstossung der Verbrennungsgase. Da durch den Arbeitsvorgang im Zylinder bedeutende Temperaturen erzeugt werden, so bedarf der DIESEL-Motor ebenfalls der Wasserkühlung, wozu etwa 10 l/PS stündlich benötigt werden.

---

1) Vgl. S. 31.

2) Siehe Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1903, No. 18, 19, 27, 28, 38.

Die Leistung des Motors kann sowohl durch Änderung der Dauer der Brennstoffzufuhr, als auch durch Verlegung des Beginns der Einspritzung verändert werden. Der Petroleumverbrauch stellt sich bei den neueren Konstruktionen pro effektive Pferdekraft und Stunde auf ca. 0·185 kg für grössere Motoren und auf etwa 0·220 kg für kleine Motoren. Von ausserordentlich grosser Bedeutung für Centralstationsbetrieb ist die Eigenschaft dieser Motoren, dass der Brennstoffverbrauch für die Einheit der Leistung bei abnehmender Belastung bis zu 20 % der Normalleistung herunter nur um weniges zunimmt. Ferner weisen die Diesel-Motoren relativ kleine Dimensionen auf bei ziemlich hohen Tourenzahlen (170—200 für Leistungen von 25—100 PS), welche dieselben für direkte Kupplung mit den Dynamos besonders geeignet erscheinen lassen.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass infolge der vollkommenen Verbrennung sowohl jede innere Verschmutzung vermieden wird, als auch die Abgase nahezu unsichtbar und geruchlos entweichen. Berücksichtigt man ferner, dass diese Motoren eine ständige Betriebsbereitschaft besitzen, so ist anzuerkennen, dass die Diesel-Motoren, wenn auch vorerst nur für Einheiten bis 400 PS, wohl geeignet sind, eine äusserst wirtschaftliche und zweckdienliche Betriebsmaschine für Elektrizitätswerke abzugeben, sofern das Brennöl zu niedrigen Preisen beschafft werden kann.

Da, wo Leuchtgas oder Hochofengas zum Betrieb der Gasmaschinen nicht zur Verfügung steht, muss die Selbsterzeugung des erforderlichen Gases, des sogenannten Generatorgases, bewirkt werden. Das Generatorgas wird erhalten, indem Luft und Wasserdampf kontinuierlich durch eine glühende Kohlenschicht geblasen wird, wobei sich zwei Prozesse vollziehen; einmal verbindet sich der Sauerstoff der Luft mit dem Kohlenstoff der Kohle zu Kohlenoxyd und andererseits zersetzt sich der Wasserdampf an der glühenden Kohlenoberfläche in Sauerstoff und Wasserstoff. Bei Verwendung von bestem Anthracit besteht das so gebildete Generatorgas etwa aus: 73. Generatorgas.

23 % CO	6 % CO_2
17 % H	52 % N
2 % CH_4	

Dieses Gas weist einen Heizwert von 1100—1300 Calorien pro Kubikmeter auf und verbrennt mit nichtleuchtender Flamme.

Wählt man andere billigere Brennstoffe, welche ausser reinem Kohlenstoff noch Beimengungen von schweren Kohlenwasserstoffen enthalten, wie z. B. gewöhnliche Steinkohle, Braunkohle oder Torf, so sind hierfür die Einrichtungen besonders zu treffen. Nicht nur erfordern diese Stoffe eine erhöhte Sorge für die Beseitigung der Asche und Schlacken, sowie der teerigen Abscheidungen, sondern auch das erzeugte Gas ist noch einer wesentlich intensiveren Reinigung zu unterziehen, damit ein ungestörter Maschinenbetrieb ermöglicht wird.

Bei der Druckgeneratorgasanlage wird das zur Gaserzeugung erforderliche Gemisch von Luft und Wasserdampf unter Druck durch die glühende Kohlenschicht getrieben. Die einfachste Methode besteht darin, dass ein besonders gefeuerter Dampfkessel für etwa 4—6 Atm. Dampfdruck den Dampf zum Betriebe eines Dampfstrahlgebläses liefert, welches die erforderliche Luftmenge mitreisst und das so gebildete Gemisch unter den Rost drückt. Um die Wärmeverluste zu vermindern, wird das erzeugte Gas, 74. Druckgeneratorgasanlage.

welches mit einer Temperatur von etwa 500 ° C. den Generator verlässt, zunächst durch einen Winderhitzer geleitet, woselbst eine Wärmeabgabe an die Verbrennungsluft stattfindet, und dann noch durch einen Vorwärmer zur Abgabe von Wärme an das Kesselspeisewasser.

Anstatt mit Hilfe eines Dampfstrahlgebläses kann das erforderliche Gemisch von Luft und Wasserdampf auch durch einen Ventilator unter den Rost gedrückt werden. In diesem Falle wird die Wärme des Generatorgases für die Verdampfung des zur Gasbildung nötigen Wassers ausgenutzt.

Die Anlagen mit besonders gefeuertem Dampfkessel bedingen zwar hierdurch einen Mehraufwand von etwa 10 % an Feuerungsmaterial, bieten aber wegen ihrer leichten Regulierbarkeit volle Gewähr, dass die glühende Kohlenschicht auch von der ausreichenden Dampfmenge durchströmt wird und demzufolge auch das Generatorgas die grösste Anreicherung an brennbarer Substanz erhält, was bei der Anordnung mit Ventilator und durch das Generatorgas geheiztem Dampferzeuger nicht ohne weiteres der Fall ist.

Druckgasanlagen mit und ohne Dampfkessel haben bei Anlagen mit mehreren Generatoren ausserdem den Vorteil, dass es leicht ist, neue in Dienst zu stellende Generatoren zuzuschalten, nachdem man sich durch eine Probierflamme überzeugt hat, dass das Gas gut ist, auch ist hierbei die Möglichkeit gegeben, zu jeder Zeit während des Betriebes eine Prüfung des Gases auf seine Güte durch die Probierflamme vorzunehmen.

75. Sauggasanlage.

Eine dritte Methode, das erforderliche Gemisch von Luft und Wasserdampf durch die glühende Kohlenschicht hindurchzutreiben, besteht darin, dass an der Gasaustrittsstelle eine Saugewirkung herbeigeführt wird, in welchem Falle ebenfalls die Wärme des Generatorgases oder der glühenden Kohlenschicht zur Bildung des erforderlichen Wasserdampfes benutzt wird. Diese Saugewirkung kann entweder direkt durch die Gasmaschine selbst bewirkt werden, in welchem Falle wir es mit den sogenannten Sauggasanlagen zu tun haben, oder mit Hilfe eines in die Gasleitung eingeschalteten Ventilators, welcher alsdann das Gas der Maschine unter Druck zuführt. Die letztere Anordnung, welche eine kombinierte Saug- und Druckgasanlage darstellt, kommt ebenso wie die Druckgasanlage namentlich dann in Frage, wenn die Gasleitung nennenswerte Widerstände aufweist, sei es infolge grösserer Rohrlänge oder wegen der durch ein erhöhtes Reinigungsbedürfnis des Generatorgases bedingten Vermehrung an Gasreinigern; schliesslich auch da, wo das Generatorgas noch als Heizgas anderweitig Verwendung finden soll.

Bei der reinen Sauggasanlage steht das erzeugte Generatorgas stets unter einem geringeren als Atmosphärendruck, weshalb ein Austreten von Gas durch Undichtigkeiten während des Betriebes kaum möglich ist und eine Verschlechterung der Luft oder gar eine gesundheitliche Schädigung des Bedienungspersonals durch das im Generatorgas enthaltene äusserst giftige Kohlenoxyd unter normalen Verhältnissen nicht zu befürchten ist. Dagegen könnte durch Eindringen von Aussenluft ein explosibles Gasgemenge entstehen, welches unter Umständen zu Explosionen Anlass geben könnte. Hiergegen sind ausreichende Vorsichtsmassregeln geboten, worüber weiter unten näheres angegeben ist. Da jedoch beim Betriebe der Maschine nur so viel Gas entwickelt wird, als dieselbe jeweils benötigt, so ist naturgemäss auch nur der Rauminhalt der Rohrleitung für die Grösse der Explosionsgefahr massgebend. Die letztere wird aber im Betriebe leicht erkannt, da beim Eindringen grösserer Luftmengen, wie sie ein explosibles Gemisch erfordert, eine der-

artige Verdünnung des Gases vorliegt, dass der Maschinenbetrieb nicht mehr aufrecht erhalten werden könnte.

In Fig. 80 ist eine kombinierte Sauge- und Druckgasanlage von Gebr. Körting in Körtingsdorf veranschaulicht.

Der zur Erzeugung des Generatorgases dienende Generator besteht aus einem gusseisernen, zylindrischen Untersatze mit verschliessbaren Reinigungsöffnungen und einem schmiedeeisernen Mantel, welcher eine feuerfeste Ausmauerung besitzt, die gegen den Mantel noch durch eine Zwischenlage aus Kieselgur isoliert ist. Unter der Schachtöffnung ist ein Planrost angebracht.

Ein an der Seite des Generators befindlicher Trichter mit Syphon dient dazu, so viel Wasser unter den Rost einzuführen, dass der Boden des Generators stets bedeckt ist, um einmal durch die infolge der strahlenden

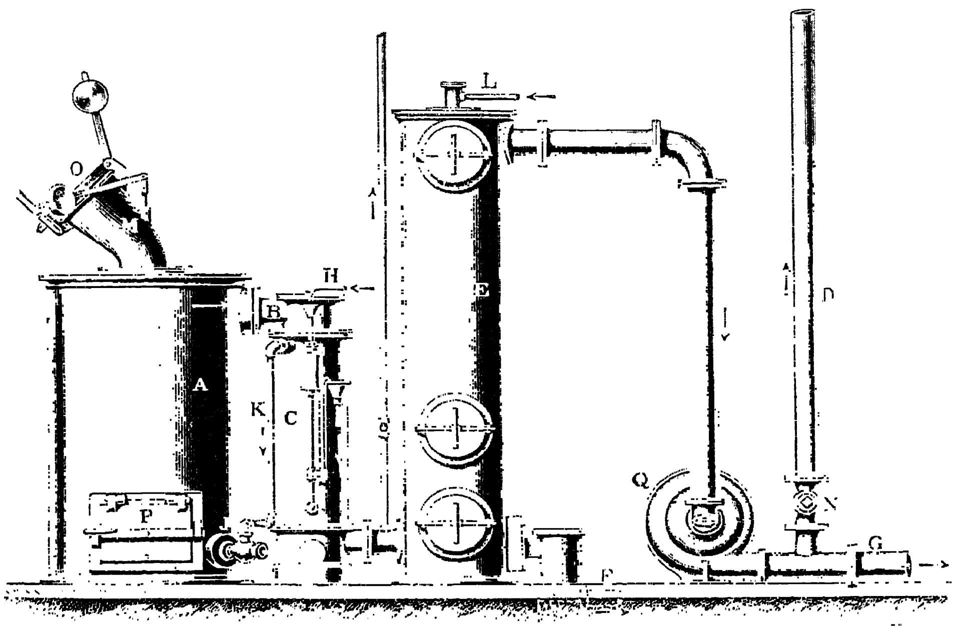


Fig. 80.

Wärme bewirkte Verdampfung des Wassers den Rost zu kühlen, und andererseits die Verbrennungsluft anzufeuchten. Im oberen Teile des Schachtes ist ein gusseiserner Trichter eingebaut, welcher oberhalb der glühenden Schicht eine gewisse Menge Brennmaterial aufzuspeichern gestattet, die allmählich in die arbeitende Zone nachrutscht, so dass die Beschickung des Generators nur nach Verlauf mehrerer Stunden nötig wird.

Der Deckel des Generators ist mit einem umklappbaren Fülltrichter mit doppeltem Verschluss versehen, so dass auch während des Betriebes Brennmaterial nachgegeben werden kann. Nach Umlegung des Trichters ist der Schacht ausserhalb der Betriebszeit von oben behufs Reinigung zugänglich. Unten seitlich am Generator tritt durch einen Stutzen, in welchen auch das Dampfrohr vom Verdunster mündet, die Verbrennungsluft ein. Auch kann von hier aus mit Hilfe eines Ventilators der Generator angeblasen werden.

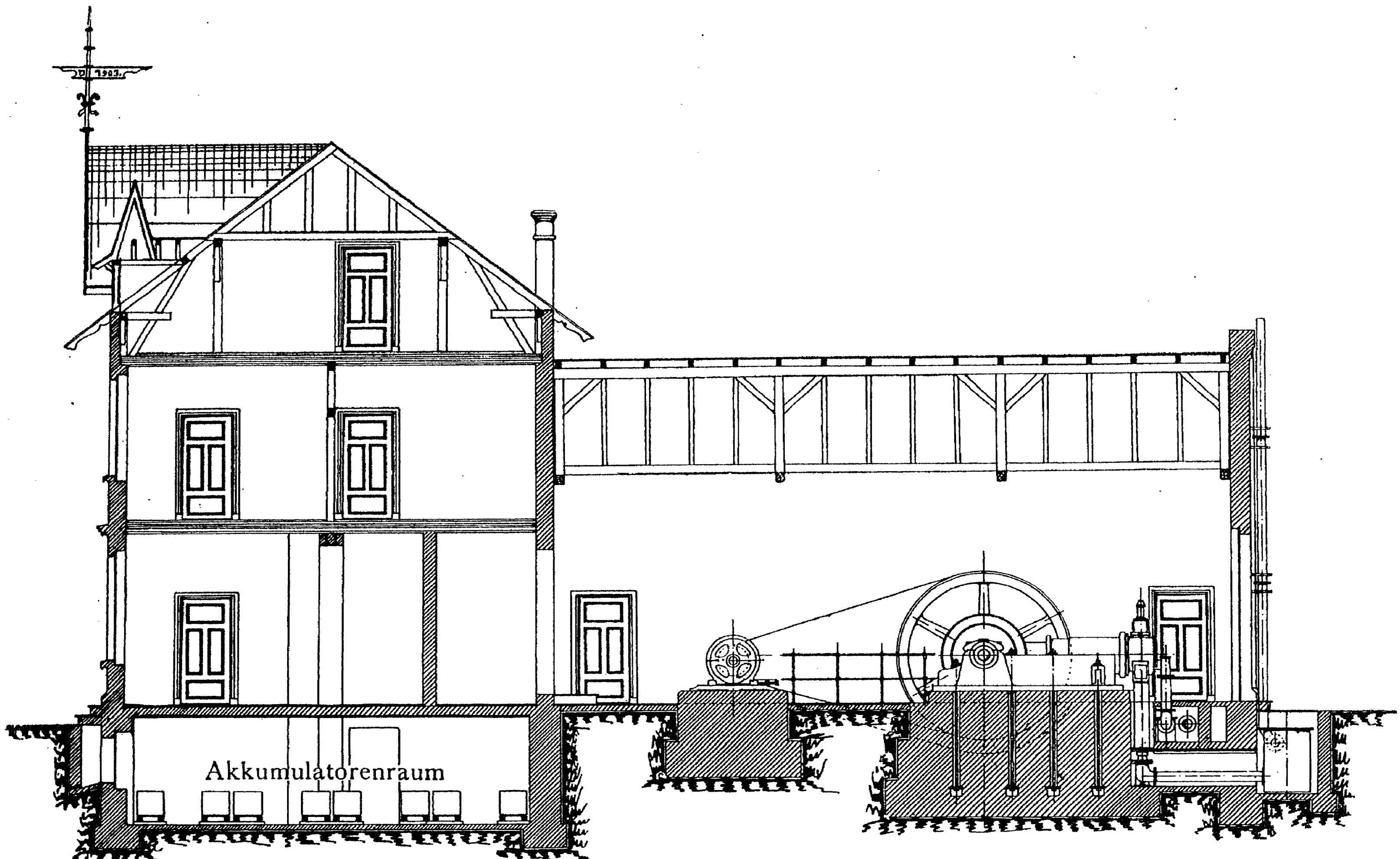


Fig. 81.

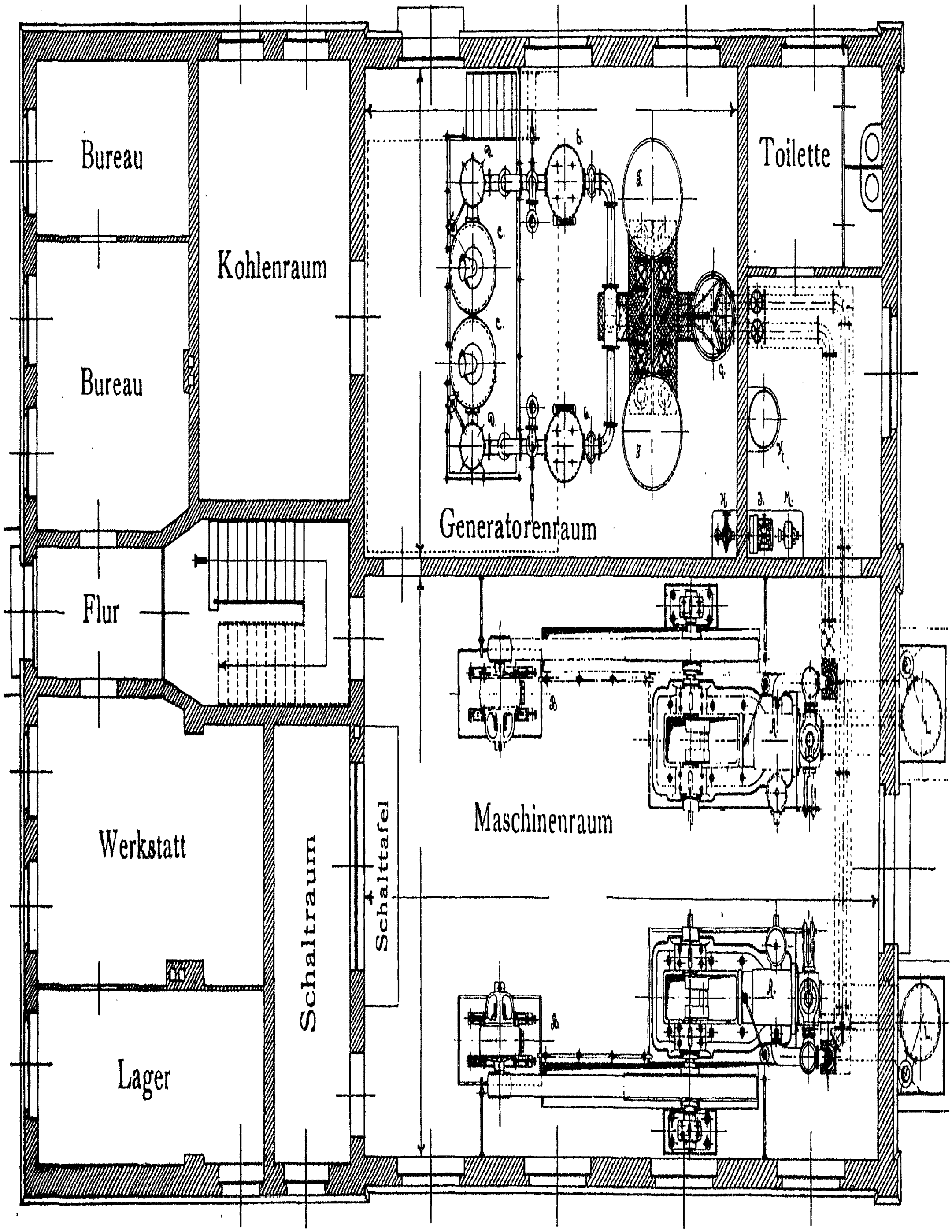


Fig. 82.

Plan von Gebr. Körting, Akt.-Ges., zur Aufstellung zweier Gasmaschinen mit Sauggasanlage.

Das im Generator erzeugte Gas tritt oben seitlich aus und durchströmt den bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser gefüllten Verdunster, welcher aus zwei durch Siederohre verbundene Kammern besteht. Von der unteren Kammer des Verdunsters gelangt das Gas zum Skrubber durch ein Rohrstück, welches einen durch einen Hahn verschliessbaren Ausgang ins Freie besitzt. Im unteren mit Wasser angefüllten Teil des Skrubbers wird das Gas bei seinem Durchgang gewaschen und gekühlt, während durch eine im oberen Teil des Skrubbers befindliche Koksschicht, über welche sich ein feiner Wasserregen ergiesst, das Gas einer weiteren Reinigung und Kühlung dadurch unterworfen wird, dass dasselbe gezwungen ist, die Zwischenräume des nassen Koks zu passieren.

Nachdem das Gas den Skrubber verlassen hat und in einem Wassertopf von dem mitgerissenen Wasser befreit ist, ist dasselbe für den Maschinenbetrieb

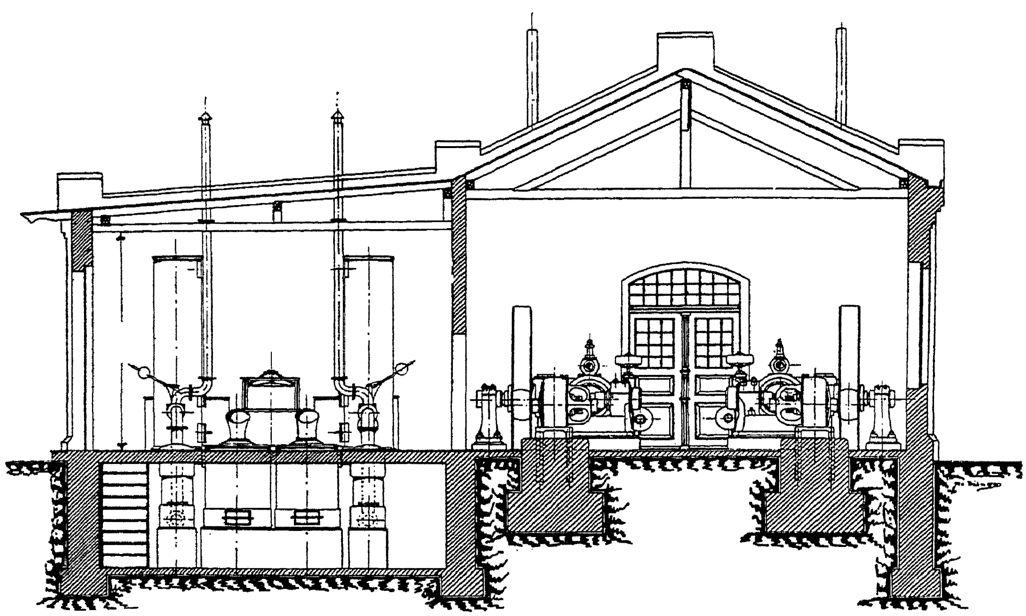


Fig. 83.

fertig, sofern es aus bitumenfreiem Anthracit hergestellt wurde, andernfalls ist noch eine weitere Reinigung in einem Sägespänereiniger erforderlich.

Während der Betriebspausen lässt man den Generator durchbrennen, indem man den Abgashahn ein wenig öffnet. Der Wasserverschluss im Skrubber bildet dabei einen selbsttätigen Verschluss nach dem Generator zu und verhindert ein Zurücktreten des Gases. Es braucht daher beim Wiederanblasen des Generators der Skrubber nicht erst mit gutem Gas wieder gefüllt zu werden.

Die Bedienung und Überwachung einer solchen Generatorgasanlage ist bei gleichmässiger Belastung eine sehr einfache, indem es nur von Zeit zu Zeit eines Nachwerfens von Brennmaterial bedarf.

Nicht ausser acht zu lassen ist jedoch, dass zur guten Erhaltung der Gasmaschine eine gründliche Reinigung des Generatorgases von allergrösstem Nutzen ist, weshalb auch auf ausreichende Beschaffung von Gasreinigern

der allergrösste Wert zu legen ist. Im Betriebe ist natürlich ein Hauptaugenmerk darauf zu richten, dass diese Apparate in einem stets betriebsfähigen Zustande erhalten werden. Um für diese Arbeiten die erforderliche Zeit zu erhalten, empfiehlt es sich, sofern die Betriebspausen nicht an sich bereits

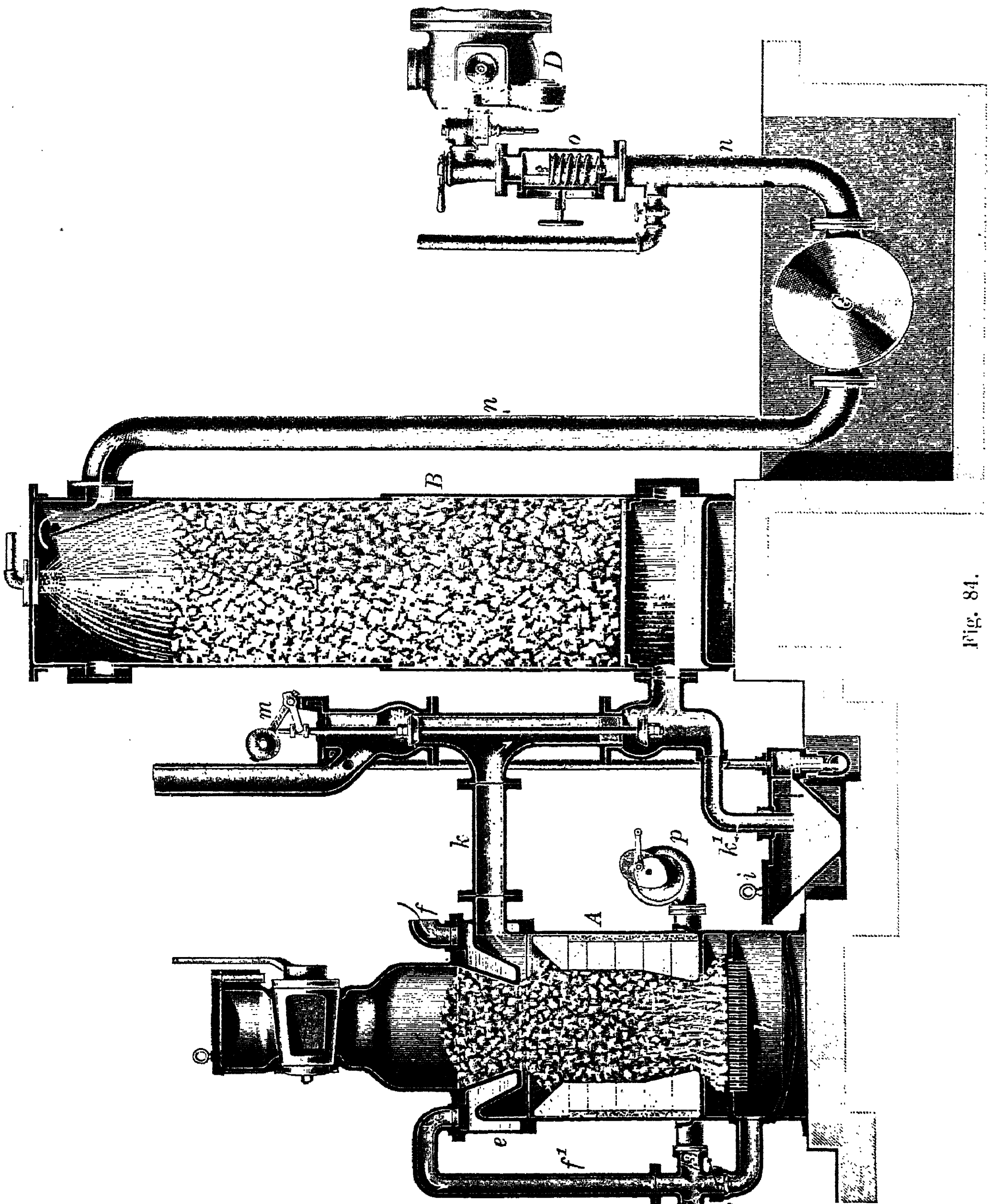


Fig. 84.

gross sind, durch Aufstellung einer hinreichend grossen Akkumulatorenbatterie die nötige Bewegungsfreiheit zu schaffen.

Einen Anhalt, wie die zweckmässige Disposition einer Generatorgasanlage nach Gebr. Körting vorzusehen ist, geben die Fig. 81, 82 und 83.

Fig. 84 stellt das Prinzip einer Sauggeneratorgasanlage der Gasmotorenfabrik Deutz dar und besteht im wesentlichen aus dem Generator *A*, dem Skrubber *B*, dem Gastopf *C* und der Rohrleitung mit anschliessender Gasmaschine *D*.

Der Generator *A* wird durch einen zylindrischen, mit Anthracit oder Koks gefüllten Schachtofen gebildet, welcher unten einen Rost, oben einen Fülltrichter mit Doppelverschluss für einen grösseren Kohlenvorrat enthält. Der untere Teil des letzteren wird von einer mit Wasser gefüllten Verdampferschale umschlossen, welche teils durch die strahlende Wärme der Kohle, teils durch die abziehenden heissen Gase geheizt wird. Die Schale ist auf der einen Seite nach der Atmosphäre hin offen, auf der anderen Seite steht sie durch eine Rohrleitung mit dem sonst geschlossenen Aschenkasten des Generators in Verbindung.

Ist die Anlage in Betrieb, also die Gasmaschine in vollem Gange, so wird bei jeder Saugperiode die Maschine eine gewisse Menge Gas aus der Leitung absaugen und dadurch in derselben eine Depression hervorrufen. Diese teilt sich zuerst dem Skrubber *B*, danach dem Generator *A*, dann durch dessen Kohlenschicht dem Aschenkasten *h* und schliesslich durch das Verbindungsrohr der Verdampfungsschale mit. Infolgedessen tritt Luft von aussen durch den Stutzen *f* in die Schale ein, streicht über den heissen Wasserspiegel, reichert sich hier infolge Verdunstung des Wassers mit Wasserdämpfen an und gelangt mit diesen beladen durch das Verbindungsrohr in den Aschenkasten *h* und durch den Rost in die glühende Brennstoffsäule des Generators, wo durch den Sauerstoff der Luft die Kohle zu Kohlenoxyd verbrannt und der Wasserdampf mit der glühenden Kohle in Wassergas umgewandelt wird. Das noch heisse Generatorgas tritt dann durch ein Rohr in den Skrubber *B*, wo es ein mit Wasser berieseltes Koksfilter durchstreichen muss und dadurch gekühlt und gereinigt wird.

Vom Skrubber *B* gelangt das Gas durch den kleinen Ausgleichstopf *C* zur Maschine, nachdem es noch kurz zuvor den Teerabscheider *o* passiert hat.

Der Wasserspiegel in der Verdampferschale wird durch einen stetigen Zufluss und durch einen Überlauf auf gleichbleibender Höhe erhalten. Das überlaufende Wasser tritt durch ein kleines Röhrchen in den Aschenkasten, wo es verdampft. Im Betriebe ist die Ventilatorklappe *3* geschlossen, die Dampfluftklappe *1* geöffnet und die Abgasleitung durch den Ventilkegel *4* geschlossen, wodurch gleichzeitig der mit diesem durch eine Spindel fest verbundene Ventilkegel *5* die zum Skrubber führende Leitung geöffnet hält. Bei Ausserbetriebsetzung der Anlage wird der Generator vom Skrubber abgesperrt und mit der Aussenluft in Verbindung gesetzt, was durch Umlegen des die Spindel bewegenden Gewichtshebels in die gegenüberliegende Grenzlage und Öffnen der Luftklappe *2* erfolgt.

Das Anfachen des Feuers zwecks erneuter Ingangsetzung des Generators geschieht durch einen Handventilator *p* mit Abschlussklappe *3*. Nachdem die Temperatur im Innern des Generators den normalen Wert erreicht hat, was nach 5 — 10 Minuten der Fall ist, werden sämtliche Organe in die Betriebsstellung gebracht und die Maschine in Gang gesetzt.

Um ein Austreten von Gas und Flammen sowie die Verschlechterung der Luft in dem Generatorraum zu verhüten, sind folgende Massregeln getroffen:

1. Die Gas abführenden Rohre eines jeden Generators werden 1 m über die höchste Dachkante geführt.

2. Zur Verhütung des Eintretens von Aussenluft in die Apparate ist das Abgasventil so mit dem Verbindungsventil zwischen Generator und Skrubber verbunden, dass beim Öffnen des einen das andere geschlossen wird. Eine Mittelstellung ist durch Einfügung des Gewichtshebels ausgeschlossen.

3. Der Fülltrichter des Generators ist mit einem Doppelverschluss versehen.

4. Um bei plötzlichem Abstellen oder Entlasten der Maschine zu verhindern, dass infolge der stattfindenden Nachvergasung Gas in den Maschinenraum tritt, müssen sofort nach Ausserbetriebsetzung die Ventile *4* und *5* durch Umlegen des Gewichtshebels umgeschaltet werden, damit das überschüssige Gas durch den Kamin entweichen kann. Andernfalls würde das Gas, welches höheren Druck als die Aussenluft annimmt, unter den Rost in den Aschenkasten *h* treten und von da in die Luftzuführungsleitung, wo es ein Explosionsgemenge bildet, und durch das über dem Rost befindliche Feuer mit lautem Knall zur Explosion gebracht wird. Zur Vermeidung dieses Übelstandes ist in die Luftzuführungsleitung ein automatisches Rückschlagventil eingebaut, welches beim geringsten Überdruck die Luftleitung abschliesst.

5. Eine Belästigung der Umgebung durch den Geruch des Skrubberwassers, welches mit bituminösen Bestandteilen und Schwefelwasserstoff vermischt ist, wird vermieden durch luftdichten Abschluss des Überlaufkastens gegen den Generatorraum.

Die Generatorgasanlagen ohne besonderen Dampfkessel unterliegen vorläufig noch nicht dem § 16 der Gewerbeordnung und sind daher auch in allen deutschen Staaten, mit Ausnahme von Sachsen, konzessionsfrei. Diejenigen mit Dampfkessel sind lediglich in ihrer Dampferzeugeranlage konzessionspflichtig. Es sind jedoch für die Herstellung von Generatorgasanlagen seitens des Ministeriums für Handel und Gewerbe in Preussen Gesichtspunkte behufs Abwendung gesundheitsschädigender Wirkungen des Halbwassergases (Kraftgases) erlassen, welche im Ministerialblatt für die gesamte innere Verwaltung in den Königl. Preussischen Staaten vom 30. Januar 1897 abgedruckt sind. Dieselben enthalten teils bauliche Vorschriften, teils Anordnungen, welche Gefahren für Personen ausschliessen sollen. Des weiteren ist vom Minister für Handel und Gewerbe in Preussen am 17. Januar 1903 eine Verfügung erlassen, welche Gesichtspunkte für die Einrichtung von Sauggasanlagen betrifft. **76. Konzessionspflicht.**

Ferner hat der Königl. Preuss. Minister für Handel und Gewerbe auf Grund der bisherigen Erfahrungen mit Sauggasanlagen mit Erlass vom 20. Juni 1904 die nachstehend abgedruckten G r u n d s ä t z e f ü r d i e E i n r i c h t u n g u n d d e n B e t r i e b v o n S a u g g a s k r a f t a n l a g e n bekanntgegeben:

1. Die Vorrichtungen zur Darstellung und Reinigung des Sauggases und die Gasmaschinen (Motoren) sind in mindestens 3·5 m, bei Maschinen über 50 PS in mindestens 4 m hohen, hellen Räumen aufzustellen, welche reichlich und in solcher Art gelüftet sind, dass eine Ansammlung von Gasen darin ausgeschlossen ist. Diese Räume dürfen zu keinen anderen Zwecken benutzt werden. Es ist zulässig die gesamte Kraftanlage in einem einzigen Raum unterzubringen.

2. In Kellerräumen ist die Aufstellung nur dann zulässig, wenn die Kellersohle nicht tiefer als 2 m unter der benachbarten Bodenoberfläche liegt.

3. Ein unmittelbarer Zusammenhang dieser Betriebsräume mit Wohnräumen ist nicht zulässig. Auch ist das Eindringen von heisser Luft oder Dünsten aus der Kraftanlage in darüber- oder danebenliegende Wohn- oder Arbeitsräume zu verhüten.

4. Die Betriebsräume der Kraftanlage müssen so gross bemessen sein, dass die einzelnen Apparate, Motoren und sonstigen Betriebseinrichtungen von allen Seiten bequem und sicher erreicht und bedient werden können. Insbesondere sind die Rohrleitungen so zu verlegen, dass durch sie der Verkehr und die Zugänglichkeit der Apparate und Maschinen nicht beeinträchtigt wird.

5. Die Beschickung der Gaserzeuger (Vergaser oder Generatoren) muss bequem und ohne Unfallgefahr (von besonderen Bühnen oder festen Treppen oder Leitern) geschehen können. Es ist dafür zu sorgen, dass durch die Füllöffnung Verbrennungsprodukte in den Betriebsraum nicht entweichen können.

6. Die während der Anheizperiode oder während des Stillstandes der Gasmaschine entstehenden Verbrennungsprodukte des Gaserzeugers sind durch ein genügend weites und dichtes Rohr bis über die Dachfirst der benachbarten Gebäude hinauszuführen. Getrennt von diesen sind die Auspuffgase der Gasmaschine durch ein besonderes eisernes Rohr ebenso hoch und in solcher Weise abzuführen, dass die Nachbarschaft durch Geräusch nicht belästigt wird.

7. Es sind Einrichtungen zu treffen, welche während der Anheizperiode und während des Stillstands der Maschine den Eintritt von Gasen aus dem Gaserzeuger in die Kühl- und Reinigungsapparate (Wäscher, Reiniger u. dgl.) verhindern.

8. Ebenso sind Vorkehrungen zu schaffen, welche bei Fehlzündungen oder bei anderen Störungen den Rücktritt von Explosionsgasen aus der Gasmaschine in die Gaszuleitung sowie Explosionen in der Auspuffrohrleitung unmöglich machen.

9. Ferner sind Vorkehrungen zu treffen, welche die Belästigungen während des Reinigens (Ascheziehens, Ausschlackens) der Gaserzeugerfeuerung auf ein Mindestmass herabdrücken. Gebotenenfalls sind die heissen Dämpfe und Gase an den Räumungsöffnungen abzufangen und fortzuleiten.

10. Die Gaswasch- und Reinigungsapparate sind mit Vorkehrungen auszustatten, welche den jeweiligen Druck erkennen lassen.

11. Die bei der Reinigung des Gases fallenden Abwässer sind so zu behandeln, dass sie geruchlos und völlig neutral abfliessen. Ebenso sind die Rückstände so zu beseitigen, dass Belästigungen der Nachbarschaft vermieden werden.

12. Die Entlüftungseinrichtungen dürfen weder das Bedienungspersonal durch lästigen Zug, noch die Nachbarschaft durch Geräusche oder auf andere Weise behelligen.

13. Die Gaserzeuger sind, wenn sie durch strahlende Hitze belästigen würden, in geeigneter Weise zu verkleiden. Auch sind die Auspuffrohrleitungen, soweit sie innerhalb der Betriebsräume liegen, zu kühlen oder wirksam zu isolieren.

14. Die Gas- und sonstigen Maschinen sind so zu fundieren und die mechanischen Kraftleitungen so anzuordnen, dass die Nachbarschaft nicht durch Erschütterungen belästigt wird.

15. Bei Eintritt der Dunkelheit ist für angemessene Beleuchtung zu sorgen.

16. Den Forderungen des Unfallschutzes ist Rechnung zu tragen.

17. Für die Arbeiter ist Sitzgelegenheit und Wascheinrichtung vorzusehen.

18. Wo mit der Kraftanlage eine Akkumulatorenanlage verbunden ist, sind die Akkumulatorenräume von allen anderen Betriebsräumen zu trennen und gut zu lüften. Zur künstlichen Beleuchtung der Akkumulatorenräume darf nur elektrisches Glühlicht mit besonderer Schutzglocke oder äussere Beleuchtung verwendet werden.

19. Durch die vorstehenden Gesichtspunkte werden etwa schon bestehende ortspolizeiliche Bau- oder sonstige Vorschriften nicht berührt.

III. Wasserkraftanlagen.[1])

Stellt man die Erstehungskosten in den Vordergrund, so wird bei einem Vergleich einer Wasserkraftanlage mit einer Dampfkraftanlage die letztere in den weitaus meisten Fällen ein ganz wesentlich geringeres Anlagekapital erfordern. Ja selbst die Gesamtbetriebskosten einschliesslich Amortisation, Kapitalzinsen und Aufwendungen für Reparaturen werden bei einer Benutzungsdauer, wie sie bei mittelgrossen Elektrizitätswerken vorliegt, nur unter besonders günstigen Verhältnissen geringer ausfallen als bei Dampfkraftanlagen, trotzdem der Energieträger bei der Wasserkraft an sich kostenlos ist.

Erst nach einer grösseren Reihe von Jahren, nachdem ein erheblicher Teil des Anlagekapitals amortisiert sein wird, beginnt die Wasserkraft eine nennenswerte Überlegenheit über die Dampfkraft in wirtschaftlicher Beziehung zu gewinnen. Sofern also nicht Verhältnisse vorliegen, welche eine ausserordentlich günstige Benutzungsdauer der Anlage oder ein sehr günstiges Gefälle wenigstens von mehr als 5 m aufweisen, dürfte der Ausbau einer Wasserkraft nur mit gewissen Opfern möglich sein. Ohne Frage ist die Nutzbarmachung einer Wasserkraft in volkswirtschaftlicher Beziehung nur zu begrüssen, selbst wenn der Hauptvorteil erst der nachfolgenden Generation zu gute kommen sollte.

Geht hieraus schon hervor, dass der Ausbau einer Wasserkraft nur unter bestimmten Voraussetzungen sehr lohnend sein wird, so kommt noch erschwerend hinzu, dass es der Regel nach an den Stellen, an denen die Gewinnung einer billigen Wasserkraft möglich ist, an dem erforderlichen, umfangreichen Konsum mangelt, und entweder durch Ansiedelung geeigneter Energieabnehmer zunächst ein Absatzgebiet geschaffen werden muss, was naturgemäss viel Zeit erfordert, oder aber die Energie ist auf relativ weite Entfernung zu übertragen, wodurch Energieverluste und neue Kapitalaufwendungen bedingt sind.

Ausser diesen mehr wirtschaftlichen Gesichtspunkten kommen natürlich die Fragen rein technischer Natur hinzu, welche sich auf den Umfang der

1) Vgl. ersten Abschnitt, S. 34 u. 66.

Wasserkraft, und die Variationen, welchen dieselbe unterworfen ist, beziehen.[1] Selbstverständlich nützt die Wasserkraft nur, wenn sie zu der Zeit des Bedarfes in hinreichender Menge zur Verfügung steht, was im allgemeinen nur der Fall sein wird, wenn ein natürliches oder künstliches Reservoir von möglichst grossem Umfange zur Ausgleichung der durch den Wechsel in den Niederschlags- bezw. Abflussmengen bedingten erheblichen Variationen der Leistungsfähigkeit der Wasserkraft vorhanden ist. Es ist also von grosser Wichtigkeit, zunächst festzustellen, wie die Abflussmengen in den verschiedenen Jahreszeiten schwanken, und welcher Ausgleich dafür geschaffen werden kann.

Einen ganz wesentlichen Fortschritt nach jeder Richtung hin bedeutet die den Errungenschaften der Neuzeit zu verdankende Anlegung von Talsperren.[2] Diese lassen sich einmal in grösserer Nähe vorhandener Konsumgebiete der Energie anlegen, haben also Aussicht, nach verhältnismässig kurzer Zeit einen hinreichenden Absatz zu erzielen, ausserdem wird durch die Talsperre ein grosses Wasserreservoir geschaffen, welches den erforderlichen Ausgleich bewirkt. Schliesslich wird durch die Talsperre ein nutzbares Gefälle verfügbar, wie es den Flussläufen sonst nur in den allerseltensten Fällen abzugewinnen ist.

Eine Wasserkraft enthält der Regel nach als charakteristische Hauptmerkmale:

1. Das Maschinenhaus mit den Turbinen,

2. den Ober- und Unterwasserkanal, durch welche den Turbinen das Wasser zugeführt und von denselben nach erfolgter Ausnutzung des Gefälles wieder abgeführt wird,

3. das Wehr, durch welches das benötigte Wasserquantum gezwungen wird, seine ursprüngliche Bahn zu verlassen und seinen Weg durch den Oberwasserkanal über die Turbinen zu nehmen.

Ausserdem kommen in Betracht: Rechen zur Fernhaltung schwimmender Fremdkörper von den Turbinen, dann unter Umständen Fischpass, Flossgasse, Kies- und Schlammdurchlässe u. s. w.

Das Gesamtgefälle ergiebt sich aus der Höhendifferenz vom Anfang des Oberwasserkanals am Wehr und der Einmündung des Unterwasserkanals in den Flusslauf. Dasselbe soll möglichst gross sein, um mit relativ kleiner Wassermenge die benötigte Leistung zu erzielen, da der Umfang der Wasserbauten mit dem abzuführenden Wasserquantum zunimmt und damit auch die Kosten der Wasserkraftanlage wachsen.

Um das Gefälle möglichst gross zu machen, wird das Wehr so hoch gelegt, als ein Anstauen des Flusses noch zulässig ist, wodurch eventuell eine Talsperre entsteht. Es darf jedoch dadurch weder eine Überschwemmungsgefahr herbeigeführt, noch einer etwa oberhalb liegenden anderen Wasserkraftanlage das vorhandene Gefälle geschmälert werden.

Aus der Grösse des nutzbaren, an den Turbinen zur Verfügung stehenden Gefälles und des zugeführten Wasserquantums ergiebt sich die Leistung der Wasserkraft. Nach Abzug der Verluste in den Turbinen, welche mit etwa

1) Vgl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1903, S. 1002.

2) Vgl. ETZ 1903, S. 131, 429; Zeitschrift für Bauwesen 1904, S. 295; Intze, Entwickelung des Talsperrenbaues in Rheinland und Westfalen.

25 % in Rechnung zu setzen sind, und den Verlusten in den elektrischen Generatoren verbleibt die an den Schalttafeln verfügbare Leistung.

Reicht die so ermittelte Leistung zur Deckung des maximalen Bedarfes nicht aus, so kann unter Umständen durch Aufstellung billiger Dampf- oder Gaskraftmaschinen eine zweckmässige Ergänzung der Wasserkraftanlage geschaffen werden.

Sehr viel Aufmerksamkeit ist auf die Beschaffung eines exakt wirkenden Regulators zu legen, da bei den gewöhnlich zur Verfügung stehenden Gefällen die Absperrung erheblicher Wassermengen erforderlich ist, welche grosse und schwere Hilfsmittel bedingen, die nicht nur zu ihrer Bewegung einen grossen Kraftaufwand erfordern, sondern auch eine grosse Trägheit in ihrer Bewegung besitzen, so dass eine exakte Konstanterhaltung der Tourenzahl bei Veränderung der Belastung eine nicht leicht erfüllbare Aufgabe ist. In vielen Fällen empfiehlt es sich daher, zur Erhaltung konstanter Spannung einen automatischen Spannungsregulator einzufügen.

Die Verbindung der Dynamomaschinen mit der Turbine erfolgt in betriebssicherster Weise ohne Frage durch direkte Kupplung, selbst wenn es sich um Turbinen mit vertikaler Welle handelt. In letzterem Falle ist allerdings der Dynamomaschine eine von der üblichen Gestalt abweichende Form zu geben und wird sich diese Spezialausführung nur bei grossen Einheiten lohnen. Wenn es daher die Verhältnisse irgend gestatten, so ist ein Turbinensystem mit horizontaler Welle, welche den Anbau einer Dynamo normaler Bauart zulässt, zu wählen.

Da die meisten Turbinen eine relativ niedrige Tourenzahl aufweisen, so erfordert die direkte Kupplung grossen Kapitalaufwand für den Generator, der um so mehr ins Gewicht fällt, je kleiner die Leistung der einzelnen Turbine ist. In solchen Fällen ist daher eine Übertragung durch Riemen oder eventuell durch Zahnradgetriebe vorzusehen.

IV. Elektrischer Teil.

a) Gleichstromwerke.

Den Generatoren oder Dynamomaschinen fällt die Aufgabe zu, die ihnen von der Antriebsmaschine zugeführte mechanische Energie mit möglichst geringen Verlusten in elektrische Energie umzusetzen. Im Interesse einer rationellen Betriebsführung soll ferner die Dynamo geringe Bedienung und Abnutzung erfordern und sich ohne Schwierigkeiten dem Wechsel in der Belastung und den Besonderheiten des Betriebes anpassen lassen. Schliesslich ist noch aus wirtschaftlichen Gründen der Anschaffungspreis der Dynamos von Einfluss auf Type und Tourenzahl. 77. Generatoren.

Es ergeben sich daher folgende Hauptgesichtspunkte bei der Wahl der Dynamos:

Der Anschaffungspreis nimmt, auf die Einheit der Leistung bezogen, mit steigender Tourenzahl und Materialbeanspruchung sowie Grösse der Leistung ab und mit Erhöhung des Wirkungsgrades zu. Ist die gewählte Antriebsmaschine für keine hohe Tourenzahl eingerichtet, so käme eventuell eine

Übersetzung mittels Riemen oder Seile in Betracht, welche jedoch dauernde Betriebsverluste von etwa 4—5 % bedingt und mehr Raum in Anspruch nimmt. Da dieselbe auch noch die Betriebssicherheit vermindert, so wählt man Riemen- oder Seilantrieb nur für kleine Leistungen bis etwa 100 PS, namentlich dann, wenn ein Hauptwert auf äusserst geringes Anlagekapital gelegt werden muss. In allen anderen Fällen wird ausschliesslich die direkte Kupplung der Dynamo mit dem Antriebsmotor gewählt. Die ferner den Anschaffungspreis beeinflussende Höhe der Materialbeanspruchung ist zum Teil durch Normen [1]) festgelegt und bei dem modernen auf Massenfabrikation zugeschnittenen Dynamobau soweit getrieben, dass eine im Interesse der Verbilligung bewirkte Steigerung in den seltensten Fällen noch möglich sein wird.

Die Erzeugnisse der verschiedenen Firmen kommen mehr und mehr sowohl in bezug auf Preis als Wirkungsgrad für gleiche Leistung und Tourenzahl einander gleich, so dass eine Verminderung des Anlagekapitals sich daher nach Festlegung der Tourenzahl vorwiegend nur noch durch Aufstellung möglichst grosser Einheiten erzielen lässt. Hier ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Differenz im Einheitspreis mit zunehmender Grösse immer kleiner wird.

Geringe Bedienung und Abnutzung, welche sich in erster Linie auf den Kommutator erstrecken, hängen zum Teil eng miteinander zusammen, indem die Abnutzung des Kommutators bei nicht funkenfreiem Gang wesentlich gesteigert wird, und die stete Einstellung der Bürsten auf funkenfreien Gang beim Wechsel der Belastung erhöhte Bedienung erfordert. Eine konstante Bürstenstellung bei jeder Belastung ist daher unbedingt anzustreben, was bei dem heutigen Dynamobau mit relativ geringem Aufwand auch durchaus ausführbar ist. Vielfach ist das Feuern der Bürsten bei sonst richtigen magnetischen Verhältnissen auch auf Formveränderung des Kommutators infolge der Temperaturänderung wegen zu geringer Pressung der Segmente oder auf unzweckmässiges Material der Schleifbürsten oder des Kommutators nebst Isolation zurückzuführen; hier hilft vielfach eine Kombination von Kupfer- und Kohlenbürsten derart, dass die Kohlenbürste der Kupferbürste vorgelagert wird. Ein weiteres Bedürfnis nach Bedienung liegt bei den Lagern der Dynamos vor, welches jedoch bei den fast ausschliesslich verwendeten Ringschmierlagern minimal ist.

Die geforderte Anpassungsfähigkeit der Dynamo an die Besonderheiten des Betriebes bedingt unter Umständen Spezialausführungen der Konstruktion. Diese sind eventuell erforderlich, wenn eine Regulierbarkeit der Spannung innerhalb sehr weiter Grenzen benötigt wird, wie solche z. B. beim Laden der Akkumulatoren oder bei hohen Verlusten in den Speiseleitungen oder bei Benutzung derselben Dynamo für zwei verschiedene Zwecke, z. B. für Licht- und Bahnbetrieb auftreten kann. Es empfiehlt sich jedoch, immer einen grossen Teil der benötigten Spannungsänderung durch entsprechende Tourenänderung der Antriebsmaschine, deren Regulator leicht dafür eingerichtet werden kann, zu bewirken, da andernfalls bei den abnormen Spannungsverhältnissen die Bedingungen für funkenfreien Gang ungünstig beeinflusst werden. Ebenfalls bedingen stark wechselnde Belastungsschwankungen, wie solche bei Strassenbahnbetrieb in der Regel auftreten, und wofür vielfach Compounddynamos am Platze sind, nicht nur Berücksichtigung bei der Systemwahl des

1) Vgl. Normalien für Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen und Transformatoren.

Dampfmaschinenregulators, sondern eventuell auch bei der Konstruktion der Dynamo. Ein grosser Wert ist ferner auf eine vorzügliche Isolation der Wicklung zu legen.

Die zu wählende Grösse der Leistung der Dynamo hat sich naturgemäss nach der Leistung der Antriebsmaschine zu richten. Bei manchen Antriebsmaschinen, wie z. B. den Dampfmaschinen, übersteigt jedoch die maximale Leistung vielfach die normale erheblich, welche Überlastung eine Dynamo während längerer Zeit nicht immer verträgt. Es ist daher auch für die Dynamomaschine eine Maximalleistung festzusetzen, welcher eine dreistündige Belastungsdauer zu Grunde gelegt werden kann. Diese Leistung unter Hinzurechnung des Verlustes in der Dynamo soll alsdann gleich der effektiven Maximalleistung der Antriebsmaschine sein.

Die Erregung der Feldmagnete kann entweder durch den Hauptstrom der Dynamo erfolgen oder dadurch, dass die Magnetwicklung parallel zu den Klemmen der Dynamomaschine gelegt wird, oder schliesslich durch eine Kombination beider.

Die Hauptstromwicklung findet nur bei Gleichstrom-Hochspannungskraftübertragung [1]) und bei Serienstromkreisen mit konstanter Stromstärke, also Bogenlichtserienstromkreisen und Glühlichtserienstromkreisen Anwendung.

Am gebräuchlichsten und am praktischsten für Elektrizitätswerke ist die Anordnung als Nebenschlussmaschine. Von Vorteil ist es dabei, die Magnetwickelung beim normalen Betrieb von den Sammelschienen abzuzweigen, wodurch ein Umpolarisieren verhütet wird. Nur für die Fälle, bei denen die Dynamo mit wesentlich erhöhter Spannung arbeiten soll,[2]) wie z. B. beim Laden von Akkumulatoren, empfiehlt sich die Selbsterregung, sofern die Antriebsmaschine in ihrer Tourenzahl nicht entsprechend gesteigert werden kann. Für solche Fälle ist im Nebenschlussstromkreis ein Umschalter vorzusehen, welcher sowohl auf Netzerregung als auch auf Selbsterregung zu schalten gestattet.

Die Compoundwicklung findet nur bei Generatoren für Bahnbetrieb Anwendung. Um auch noch einen Teil des Spannungsverlustes in der Speiseleitung auszugleichen, ist eine Über-Compoundierung angebracht.

An Hilfsmaschinen finden in elektrischen Centralen Zusatz- und Ausgleichsdynamos [3]) vielfach Verwendung. Zusatzdynamos kommen z. B. zur Anwendung für die Erzeugung der zum Laden von Akkumulatoren erforderlichen Spannungserhöhung namentlich dann, falls die Ladestromstärke der Akkumulatorenbatterie eine ungünstige Belastung für die Dampfmaschine abgeben würde. Eine weitere Verwendung finden Zusatzdynamos [4]) für einzelne Speiseleitungen mit erhöhtem Spannungsverlust zur Ausgleichung des Leitungsverlustes. In allen diesen Fällen wird die von einer Dampfmaschine oder Transmission oder von einem Elektromotor angetriebene Zusatzdynamo mit der Betriebsmaschine bezw. den Sammelschienen so in Serie geschaltet, dass die erzeugte Spannung sich zu der vorhandenen addiert. Wird die Zusatzdynamo als Hauptstromdynamo ausgebildet, so ist sie selbstregulierend, indem mit steigender Stromstärke die erzeugte Zusatzspannung in einem be- 78. Hilfsmaschinen.

1) Vgl. ersten Abschnitt, S. 80—82.
2) Vgl. E T Z 1902, S. 491.
3) Vgl. zweiten Abschnitt, S. 97.
4) Vgl. E T Z 1902, S. 600 und zweiten Abschnitt, S. 100.

stimmten Verhältnis steigt; als Nebenschlussdynamo angeordnet giebt man dem Magnetfeld Fremderregung.

Einen Nachteil besitzt die von einem Elektromotor angetriebene Zusatzdynamo insofern als dieselbe durchgehen wird, sobald der Antriebsmotor aus irgend einem Grunde, z. B. durch das Schmelzen der Sicherungen, inaktiv wird, da alsdann die Zusatzdynamo als Motor im Anschluss an eine viel zu hohe Spannung läuft. Bei Verwendung als Serienmaschine findet dieser Vorgang nach erfolgtem Wechsel der Drehrichtung statt. Es empfiehlt sich daher bei dieser Kombination eine Sicherheitsvorkehrung anzubringen, welche die Zusatzdynamo im gegebenen Moment kurzschliesst. Fig. 85 stellt eine automatische Kurzschlussvorrichtung für Zusatzdynamos der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft dar.

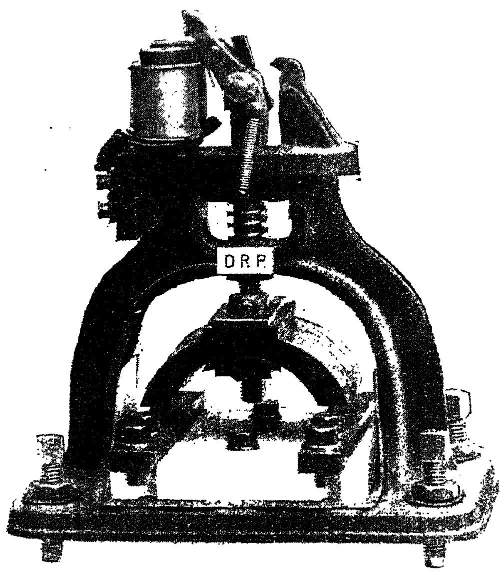


Fig. 85.

Der dargestellte Apparat wird direkt an die zu sichernde Maschine angebaut, bezw. auf die gemeinsame Grundplatte zwischen Zusatzmaschine und Motor montiert. Am Umfang der Kupplung oder sonst einer mit der Welle verbundenen Scheibe sind Nuten ausgearbeitet. Sobald die Maschine eine der normalen entgegengesetzte Drehrichtung annimmt, wird der Sperrhebel, der sonst von einem parallel zum Motor geschalteten Magneten festgehalten wird, von einer Nute mitgenommen, die Führungsstange mit der Kontaktbürste auf die Kontakte gedrückt und damit die Maschine durch Kurzschluss gebremst. Das Unterbrechen des Kurzschlusses beim Wiederanlassen erfolgt selbsttätig.

Da wo die örtlichen Verhältnisse die Anbringung dieses direkt wirkenden Apparates nicht zulassen, wird derselbe Zweck durch Vermittelung eines Zentrifugal-Hilfskontaktes erreicht. Sobald der Motor nahezu stehen bleibt, werden durch den sich schliessenden Zentrifugalkontakt Elektromagnete am Kurzschliesser erregt, wodurch das Kurzschliessen erfolgt.

Der Zweck der Ausgleichsdynamos ist, wie im zweiten Abschnitt eingehend ausgeführt, eine Spannungsteilung in solchen Anlagen herbeizuführen, bei denen die Generatoren nur auf die Aussenleiter von Mehrleiternetzsystemen arbeiten.

Die Akkumulatoren[1]) sind Aufspeicherungsapparate, welche durch die Umformung der elektrischen Energie in chemische und wieder zurück in elektrische einen Energieverlust von etwa 25 % bedingen. Aus wirtschaftlichen Gründen soll daher der Akkumulator nicht grösser gewählt und in Anspruch genommen werden, als unumgänglich notwendig ist.[2]) Nachdem die maximale Leistung festgelegt ist, bedarf es noch der Begrenzung der Zeitdauer, während welcher der Akkumulator die maximale Leistung abzugeben befähigt sein soll. Während man früher vielfach für Lichtcentralen eine zehnstündige Entladedauer wählte, begnügt man sich heutzutage meistens mit einer dreistündigen Entladedauer. Bei Pufferbatterien wird sogar allgemein nur mit einer einstündigen Entladedauer gerechnet. Man geht hierbei von dem Gesichtspunkt aus, dass die Zeitdauer von drei Stunden zur Ausgleichung der Spitze der Belastungskurve ausreichend ist, und dass auch bei den weitaus meisten Störungen ein Zeitraum von drei Stunden hinreichend ist, um die Stromlieferung mittels der Maschine wieder aufzunehmen, so dass der durch eine längere Entladedauer bedingte erhöhte Kapitalaufwand keine begründete Rechtfertigung findet. 79. Akkumulatoren.

Ausser der Type ist noch die erforderliche Zellenzahl zu ermitteln. Dieselbe ergiebt sich durch Division der Voltzahl pro Element am Ende der Entladung in die höchste Sammelschienenspannung vermehrt um den Spannungsverlust in den Akkumulatorenleitungen. Bei Bleiakkumulatoren für drei- und mehrstündige Entladedauer rechnet man als tiefsten Wert der Zellenspannung je nach Grösse der Elemente 1·80 — 1·83 Volt, während bei Elementen mit einstündiger Entladedauer nur mit 1·75 — 1·80 Volt pro Element zu rechnen ist.

Der Aufstellungsort für die Batterie ist so zu wählen, dass die Leitungen, welche stets nennenswerte Kosten verursachen, nicht zu lang ausfallen. Um an Gebäudekosten zu sparen, wird mit Vorliebe die Unterbringung in Kellern gewählt. Sind solche Räume nicht verfügbar, so ist die Batterie in den Stockwerken aufzustellen.

Da die Schwefelsäure von den Gebäudeteilen fern zu halten ist, so sind Wände und Decken säurefest zu machen und namentlich ist auf Undurchlässigkeit des Fussbodens zu achten. Hier hat sich ein säurefreier Fliessenbelag oder in Ermangelung dessen bester Trinidadasphalt am meisten bewährt; für Ventilation ist stets Sorge zu tragen.

Die Aufstellung der Zellen selbst hat so zu erfolgen, dass jedes einzelne Element bequem von oben besichtigt und revidiert werden kann. Sind die Elemente sehr hoch, so benutzt man besondere, erhöhte Bedienungsgänge. Kleine Elemente lassen sich behufs besserer Raumausnutzung in zwei Etagen übereinander anordnen (Fig. 86). Zur Vermeidung von Erdschluss und zum Schutze des Bedienungspersonals stellt man sowohl die Zellen bezw. Zellengestelle als auch die Bedienungsgänge isoliert auf. Um Reparaturen und Auswechselung von Zellen vornehmen zu können, sind die Bedienungsgänge

1) Vgl. zweiten Abschnitt, S. 90 und Bd. III, 2.
2) Vgl. S. 91.

hinreichend breit anzulegen, so dass jede einzelne Zelle transportiert werden kann. Die gegen die Einwirkung der Säure durch entsprechenden Anstrich zu schützenden blanken Kupferleitungen werden zweckmässig an eisernen Gestängen unter der Decke befestigt. Die an den Gestängen befestigten, zum Tragen der Leitungen dienenden Isolatoren macht man in der Höhe verstellbar, damit bei etwaigen Senkungen der Elemente ein Nachlassen der Leitungen ermöglicht wird. Eine zweckmässige Anordnung der Aufstellung von Akkumulatorenzellen zeigt Fig. 87.

Bei grösseren Batterien empfiehlt es sich Vorkehrungen zu treffen, um das Nachfüllen der einzelnen Elemente bequem zu bewirken. Hierzu wird

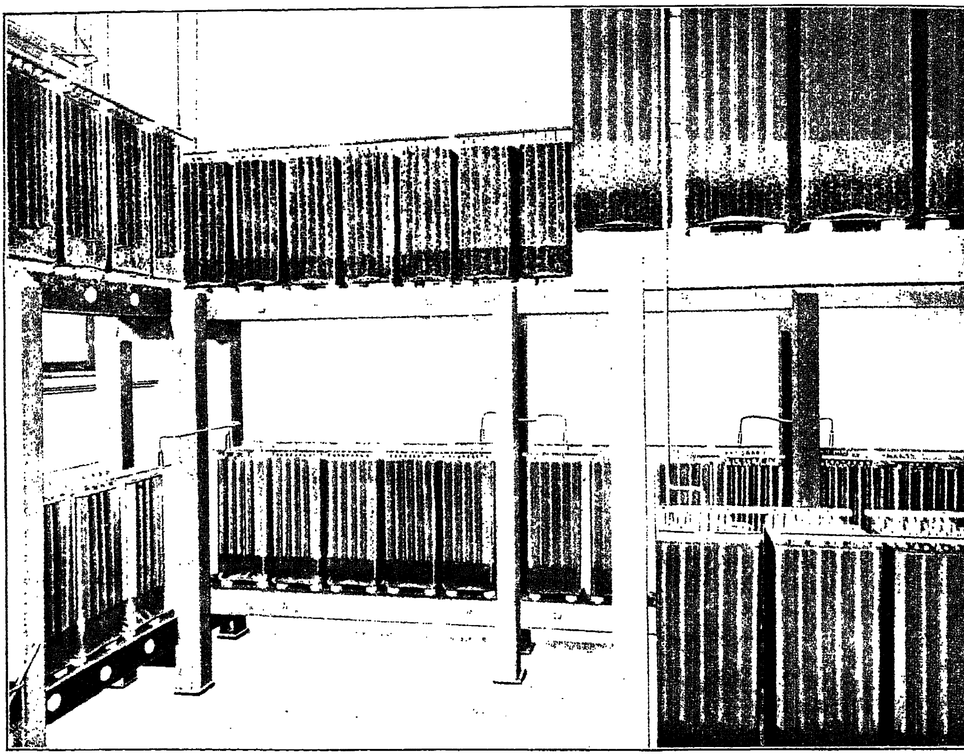


Fig. 86.

oberhalb der Elemente ein Reservoir für Säure und ein solches für destilliertes Wasser aufgestellt, welche mit Hilfe einer Pumpe aus dem am besten im Kellergeschoss aufgestellten Mischgefässe gefüllt werden können. Von diesen Behältern führen durch die Akkumulatorenräume Bleileitungen mit Zapfhähnen, so dass jedes einzelne Element unter Benutzung eines Gummischlauches versorgt werden kann.

80. Zellenschalter.

Entsprechend der im Verlauf der Entladung eintretenden Spannungsverminderung der Batterie ist es erforderlich, Ersatz zu schaffen, was fast ausschliesslich durch allmähliches Zuschalten von Reservezellen bewirkt wird. Hierzu dienen die Zellenschalter.[1]) Von den Endzellen der Batterie führen

1) Vgl. Hdb. VI, 1, S. 295.

die Zellenschalterleitungen an eine Reihe von Kontakten, auf welchen der Entladeschlitten sowie der Ladeschlitten schleifen, die ihrerseits wiederum mit der Entlade- bezw. der Ladeleitung verbunden sind, um den Strom ab- bezw. zuzuführen.

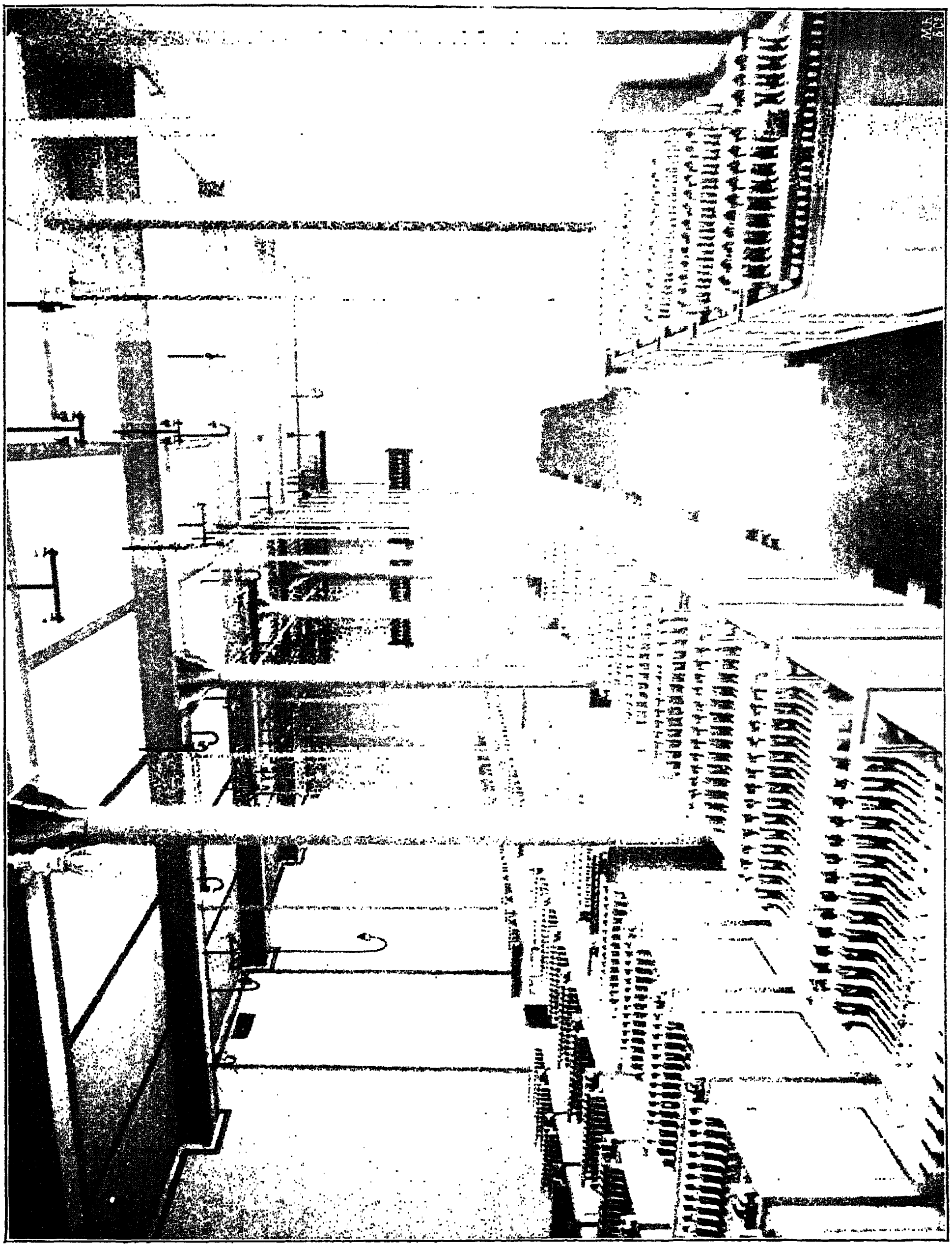


Fig. 87.

Es ist für die Anzahl der Kontakte am Zellenschalter einmal die Spannungsänderung an den Sammelschienen gemäss dem Spannungsverlust in den Speiseleitungen massgebend und sodann der mit fortschreitender Entladung auftretende Spannungsabfall der Akkumulatoren. Ein Beispiel möge

zum besseren Verständnis dienen. Angenommen der Verlust in den Speisekabeln für eine Konsumspannung von 2 × 220 Volt betrage 2 × 22 Volt. Die Klemmenspannung jedes Elementes sinke bei normaler Beanspruchung von 1·97 auf 1·82 Volt und in den Akkumulatorenleitungen bis zu den Hauptsammelschienen finde hierbei ein Spannungsverlust von 2 × 10 Volt statt. Dann beträgt bei voller Inanspruchnahme des Leitungsnetzes und des Akkumulators die Sammelschienenspannung 2 × 242 Volt und die Klemmenspannung am Akkumulator 2 × 252 Volt, für welche entsprechende Zellenzahl auch die Lademaschine eingerichtet sein muss. Bei geringster Inanspruchnahme der Centrale ist die Sammelschienenspannung und damit auch die Klemmenspannung am Akkumulator gleich 2 × 220 Volt. Die gesamte erforderliche Spannungsvariation am Akkumulator während der Entladung beträgt demnach 2 × 252 — 2 × 220, d. i. 2 × 32 Volt. Zu Ende der Entladung ist die Zellenspannung 1·82 Volt, in welchem Falle bei maximaler Belastung 2 × 252 : 1·82 = 2 × 139 Zellen eingeschaltet sein müssen. Bei der geringsten Sammelschienenspannung von 2 × 220 Volt und geladenem Akkumulator ergiebt sich eine erforderliche Zellenzahl von 2 × 220 : 1·97 = 2 × 112 Zellen. Demnach muss der Zellenschalter gestatten, die eingeschaltete Zellenzahl jeder Batteriehälfte insgesamt von 139 auf 112, also um 27 Zellen zu ändern.

Bisher haben wir jedoch nur die Spannungsänderung ins Auge gefasst, welche bei der Entladung auftreten kann. In den meisten Fällen soll der Akkumulator aber auch während der Dauer der Ladung zur Spannungsregelung parallel zum Netz geschaltet sein, wozu die Doppelzellenschalter dienen. Da nun die Ladespannung der einzelnen Zelle bis auf 2·7 Volt steigt, so dürfen am Ende der Ladung bei geringstem Stromkonsum im Netz nur 2 × 220 : 2·7 = 2 × 81 Zellen eingeschaltet bleiben. Die Doppelzellenschalter müssen demnach eine gesamte Variation der Zellenzahl von 2 × 139 auf 2 × 81, d. i. um je 58 Zellen zulassen.

Da naturgemäss alle Zellenschalterleitungen für den vollen Strom berechnet sein müssen, von denen zur Zeit immer nur je eine unter Strom steht, so erfordern dieselben einen beträchtlichen Kostenaufwand, und es hat nicht an Versuchen gefehlt, ausser durch zweckmässige Placierung die Länge der Leitungen zu beschränken, noch anderweitig Ersparnisse zu machen. So hat man vielfach bei 220 Voltanlagen zwischen je zwei Zellenschalterleitungen zwei Zellen gelegt, da diese Anordnung derselben prozentualen Spannungsänderung entspricht wie eine Schaltzelle bei 110 Volt. Um jedoch auch bei 110 Voltanlagen mit der halben Anzahl von Zellenschalterleitungen auskommen zu können, sowie um bei 220 Voltanlagen mit feinerer Spannungsabstufung zu arbeiten, ist von G. J. Erlacher, Paris (ETZ 1903, S. 810), eine Einrichtung angegeben, welche gestattet, auch da, wo zwischen je zwei Kontakte des Zellenschalters zwei Elemente geschaltet sind, pro Kontakt nur eine Spannungsänderung einer einzelnen Zelle auftreten zu lassen. Dieses wird durch eine Hilfszelle erreicht, welche mit der Bewegung des Zellenschalterschlittens abwechselnd zu- und abgeschaltet wird.

Durch die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft ist eine verbesserte Konstruktion des Erlacherschen Schalters geschaffen, welche auch für die gradlinige Kontaktanordnung beim Zellenschalter verwendbar ist und die im Betrieb der Berliner Elektrizitätswerke gute Resultate gegeben hat.

Die Schleifbürsten der Zellenschalter sind so anzuordnen, dass einmal beim Schalten keine Stromunterbrechung erfolgt und andererseits ein Kurzschliessen der vom Kontaktschlitten überbrückten Zelle vermieden wird. Dieses wird erreicht durch Anbringung einer Hilfsbürste am Kontaktschlitten, welche mit der Hauptbürste durch einen Widerstand verbunden ist. Die Entfernung der Kontakte des Zellenschalters wird so gewählt, dass dieselbe grösser ist als die Breite der Hauptbürste.

Die Form der Zellenschalter ist entweder eine langgestreckte oder eine kreisrunde. Es lassen sich zwar für beide Arten brauchbare Konstruktionen für jede beliebige Stromstärke schaffen, doch findet man in der Praxis die runde Form fast nur für geringere Stromstärken, während für grosse Batterieleistungen die langgestreckte Form gebräuchlicher ist und auch für die Abführung der starken Leitungen wesentliche Vorzüge bietet.

81. Schalt-, Mess- und Sicherheitsapparate.

Die Schalt-, Mess- und Sicherheitsapparate sollen die Handhabung und Beaufsichtigung des gesamten elektrischen Betriebes ermöglichen und bewirken, dass an irgend einer Stelle auftretende Störungen auf den Entstehungsort beschränkt bleiben und den übrigen Betrieb in keiner Weise nachteilig beeinflussen. Alle derartigen Anlagen befriedigen am besten, wenn sie möglichst einfach und vor allem betriebssicher angelegt sind.

Zunächst werden die Ströme sämtlicher in Betrieb gesetzter Dynamomaschinen nach einer gemeinsamen Leitung (den Hauptsammelschienen) geführt. Zu diesem Zwecke sind für jede Dynamo Schalter vorzusehen, mit deren Hilfe das Ausschalten im Notfalle selbst bei voller Belastung der Dynamo ermöglicht werden muss. Da ferner eine Kontrolle über den Grad der Belastung jeder einzelnen Maschine erforderlich ist, um einmal schädliche Überlastungen derselben vermeiden zu können und andererseits die Möglichkeit zu bieten, bei zu geringer Belastung eine entsprechende Reduktion der in Betrieb befindlichen Dynamos eintreten zu lassen, sind geeignete Messinstrumente in die Leitung von jeder Dynamomaschine einzufügen, welche die Momentanleistung jederzeit erkennen lassen. Schliesslich bedingt eine einwandsfreie Stromlieferung die Konstanthaltung der Netzspannung, weshalb Vorrichtungen zum Regulieren der Spannung der Dynamomaschinen und zum Anzeigen der Netzspannung vorhanden sein müssen.

Da alle diese Teile direkt auf den Betrieb der Dynamos von Einfluss sind und eng miteinander zusammenhängen, so werden dieselben auf einer Schalttafel, der sogenannten Maschinenschalttafel vereinigt, damit die Beherrschung der Stromlieferung von einer Centralstelle aus in übersichtlicher und einfachster Weise erfolgen kann.

Der Aufstellungsort für die Schalttafel wird zweckmässig so gewählt, dass von hier aus ein guter Überblick über sämtliche zur Schalttafel gehörige Betriebsmaschinen ermöglicht ist. In grösseren Anlagen lässt sich diese Bedingung leichter erfüllen, wenn die Schalttafel eine erhöhte Lage erhält, etwa auf einer Gallerie oder einem Podium. Da bei einer etwaigen Vermehrung der Betriebsmittel auch die Schaltanlage zu erweitern ist, so muss bei der Anordnung der Schalttafel hierauf Rücksicht genommen werden. Am zweckmässigsten wird deshalb die Schalttafel parallel zur Längsachse des Maschinenhauses angeordnet.

Bei Dynamomaschinen für hohe Stromstärken sind erhebliche Kupferquerschnitte erforderlich, deren Hinführung nach der Schalttafel eventuell grosse Kosten verursacht. Ist eine grössere Anzahl solcher Maschinen vor-

handen, so kann auch die Frage der Unterbringung der vielen starken Leitungen Schwierigkeiten verursachen. In solchen Fällen kann mit grossem Vorteil das namentlich in Amerika verbreitete System der Fernschaltung[1]) angewendet werden. Hierbei werden die eigentlichen Schalter an einer geeigneten Stelle zwischen der Dynamo und den Hauptsammelschienen untergebracht, und erfolgt deren Betätigung entweder durch mechanische Übertragungsmittel oder durch Hilfsstromkreise mit elektrischen Bewegungsmechanismen, deren Schalter vom Schaltbrett aus betätigt werden, welches letztere in diesem Falle äusserst klein und handlich ausfällt. Die Messinstrumente bleiben selbstverständlich in der Nähe der Hilfsschalter, da nach deren Angaben die Schaltungen zu erfolgen haben. Für die Strommesser werden in diesem Falle nur Präzisionsinstrumente in Abzweigung von einem Shunt gewählt, welche übrigens auch bei gewöhnlichen Schalttafeln den Vorzug verdienen.

Das Konstruktionsmaterial für die Schalttafeln soll unverbrennlich sein, damit durch etwa auftretende Feuererscheinungen kein Brand entstehen kann. Zweckmässig baut sich eine Schalttafel derartig auf, dass ein festes eisernes Gerüst als Träger für Schalter und Messinstrumente dient. Es ist üblich geworden, die vordere Fläche der Schalttafeln aus poliertem Schiefer oder Marmor zu machen, von der sich die Messinstrumente und Apparate wirkungsvoll abheben. Blanke stromführende Teile sind nach Möglichkeit auf der vorderen Seite der Schalttafel zu vermeiden. Zu dem Zwecke werden Messinstrumente mit rückwärtigen Anschlüssen gewählt. Die Schalter, wenigstens die grösseren, ordnet man ebenfalls auf der Rückseite an und lässt lediglich die Hebel nach vorne durchgehen. Eventuell werden zu dem Zwecke einfache mechanische Gestänge als Übertragungsmittel der Bewegung eingefügt.

Grosser Wert ist auf allseitige Zugänglichkeit und hinreichenden Zwischenraum zwischen den einzelnen Apparaten und Leiterteilen verschiedener Polarität zu legen. Auch die Wahl des zweckmässigsten Isoliermaterials ist sorgfältigst zu treffen. Hygroskopische und solche Materialien, welche in der Wärme leicht eine Formveränderung erleiden, sind ausgeschlossen.

Je nach dem speziellen Zweck sind die Schalttafeln verschieden anzuordnen.

Bevor zur Konstruktion der Schalttafeln geschritten wird, ist festzulegen, welche Schaltungen die Schaltanlage ermöglichen soll. Zu diesem Zwecke wird das Schaltungsschema[2]) entworfen. Auf Grund des Schaltungsschemas werden alsdann die für den bestimmten Zweck geeignetsten Instrumente und Schalter ausgewählt und darauf die günstigste Zusammenstellung auf der Schalttafel entworfen. Hierbei ist zunächst zu beachten, dass alle Instrumente, welche zur Ausführung bestimmter Handgriffe zu beobachten sind, möglichst unmittelbar vor dem Auge des die Schaltung Ausführenden angeordnet sein sollen. Je schwieriger sich die Beobachtung der Instrumentangaben beim Schalten bewirken lässt, um so leichter werden Schaltfehler vorkommen. Andererseits ist aber auch der Ausbildung zweckmässiger Angriffspunkte für die Schalter, sowie kurzen zwangläufigen Bewegungen für dieselben hinreichende Sorgfalt zu widmen. Die Betätigung des Schalters selbst muss auf alle Fälle in sicherer Weise möglich sein, ohne das Auge auf denselben

1) Vgl. S. 73.
2) Vgl. Tafel X.

zu richten. Das gleiche gilt von den Regulierwiderständen, mit deren Hilfe die Spannung sowie die Belastung der zugehörigen Maschine reguliert wird.

Ist die Entfernung zwischen dem zu beobachtenden Instrument und dem Handgriff des Schalters oder des Regulators nicht auf das gewünschte geringe Mass zu bringen, was allerdings nur in Ausnahmefällen vorkommen dürfte, namentlich bei denjenigen Instrumenten, deren Angaben für alle Maschinen gleichen Wert besitzen, wie Netzspannungsmesser und Hauptstationsvoltmeter, so hilft man sich durch Wahl sehr grosser Instrumente, deren Angaben auf die weite Entfernung mit genügender Genauigkeit beobachtet werden können. Eventuell giebt man denselben eine solche Stellung ausserhalb der Schalttafel, dass sie von jedem Platze bequem abgelesen werden können. Auch eine intensive Beleuchtung fördert die leichtere Beobachtungsfähigkeit. Vielfach werden beleuchtete transparente Skalen der Instrumente gute Dienste leisten.

Um an Instrumenten auf der Schalttafel zu sparen, lassen sich solche, die nur während der Dauer der Einschaltung benötigt werden, wie z. B. die Voltmeter jeder einzelnen Dynamo, für alle Maschinenaggregate in ein einziges zusammenfassen, indem man dieses Instrument mit Hilfe eines Umschalters auf jede einzelne Dynamo umschaltbar macht. Nur muss man vermeiden, solche Instrumente zu vereinigen, welche gleichzeitig zu beobachten sind, wie z. B. Maschinenvoltmeter und Sammelschienenvoltmeter. Das Maschinenvoltmeter wird zwar nach erfolgter Einschaltung der Dynamo zum Sammelschienenvoltmeter, um jedoch eine weitere Maschine zur ersten zuzuschalten, sind beide auf gleiche Spannung zu bringen. Ist hierfür nur ein einziges Instrument vorhanden, so muss dasselbe mit Hilfe des Umschalters häufig hin und her geschaltet werden, was nicht nur zeitraubend ist, da jedes Zeigerinstrument eine gewisse Zeit gebraucht, bis die Schwingungen zur Ruhe gekommen sind, sondern auch eine gewisse Betriebsunsicherheit bedingt, da die Betriebsverhältnisse sich während der Umschaltung geändert haben können.

Die Anordnung der Instrumente und Apparate für die Schaltanlage soll ferner so getroffen werden, dass alle zur einzelnen Maschine gehörigen Teile nach erfolgter Abstellung der Dynamo gefahrlos nachgesehen und nötigenfalls leicht demontiert werden können. Zu diesem Zwecke empfiehlt es sich, den Hauptmaschinenschalter oder den Sicherheitsschalter den Sammelschienen zunächst anzuordnen, so dass mit der Betätigung desselben alle rückwärtigen Teile stromlos werden.

Teile der Schaltanlage, bei denen betriebsmässig heftige Feuererscheinungen auftreten, wie z. B. Schmelzsicherungen, werden zweckmässig ausserhalb der Schalttafel untergebracht. Da der Zweck der Sicherheitsschalter der ist, im Falle einer Störung in irgend einem Teile der Anlage den gestörten Teil von der übrigen Anlage zu trennen, so ist der richtige Platz dieser Sicherheitsapparate unmittelbar hinter den Sammelschienen. Wählt man automatische Schalter, welche eventuell noch zur Ferneinschaltung eingerichtet sein können, so erübrigt sich unter Umständen der Hauptmaschinenschalter. Bei Niederspannungsanlagen findet man häufig keinerlei Sicherheitsschalter in Verwendung, da dieselben bei einer aussergewöhnlichen plötzlichen Belastungssteigerung naturgemäss auch in Funktion treten und durch eine nicht gewünschte Abschaltung grosse Verlegenheiten herbeiführen können.

Vorzuziehen ist jedenfalls, nicht auf die Sicherheitsapparate ganz zu verzichten, sondern dieselben den Anforderungen des Betriebs anzupassen, z. B. durch Einfügung von Zeitrelais, welche das Ausschalten erst nach einer gewissen einstellbaren Zeitdauer zulassen. Diese Zeitdauer richtet sich in erster Linie danach, wie lange die Betriebsmittel der erhöhten Beanspruchung gewachsen sind.

Damit die Sicherheitsapparate ihren Zweck, die Anlage vor den zerstörenden Wirkungen zu hoher Stromstärke zu schützen, erfüllen können, müssen sie vor allem befähigt sein, selbst unter den ungünstigsten vorkommenden Verhältnissen eine sichere Abschaltung des gefährdeten Teiles der Anlage zu bewirken. Die grösste Verbreitung haben für diesen Zweck die Schmelzsicherungen gefunden, welche den grossen Vorzug besitzen, einfach und billig zu sein, sowie dass dieselben bei kurz dauernden Überlastungen nicht sofort funktionieren, sondern infolge der vorhandenen Wärmekapazität der Metallmassen eine gewisse Trägheit aufweisen, die in den weitaus meisten Fällen erwünscht ist. Andererseits darf diese Verzögerung in der Wirkung auch nicht zu lang ausgedehnt werden, da sonst der eigentliche Zweck in Frage gestellt werden kann, wie dieses z. B. bei Schmelzsicherungen für sehr hohe Stromstärken bezw. bei Anwendung erheblicher Metallquerschnitte für den Schmelzeinsatz zu befürchten ist. Ganz allgemein wird ein Schmelzeinsatz um so präziser funktionieren, je weniger Metallmasse vorhanden ist, und man verwendet daher hierfür vielfach Kupfer oder Silber. Da deren Schmelztemperatur sehr hoch liegt, so verschwindet dabei die Einwirkung der Temperaturunterschiede der Umgebung praktisch vollständig. Um ein Stehenbleiben des Lichtbogens zu verhüten, ist nicht nur eine der verwendeten Spannung entsprechende Länge des Schmelzeinsatzes erforderlich, sondern es sollen auch möglichst wenig leitende Metalldämpfe beim Durchschmelzen entwickelt werden. Zum Löschen des entstandenen Lichtbogens werden vielfach besondere Hilfsmittel, wie Pressluft, Öl oder die ablenkende Wirkung eines Elektromagneten angewendet.

Die den Schmelzsicherungen anhaftenden Nachteile, welche namentlich bei den hohen Stromstärken und gesteigerten Spannungen sich fühlbar machen und teils auf die bedeutende Feuererscheinung, teils auf unsicheres Funktionieren zurückzuführen sind, haben zur Konstruktion von automatisch wirkenden Schaltern[1]) geführt. Die wichtigsten Gesichtspunkte für die Konstruktion derselben sind sichere und gefahrlose Löschung des Unterbrechungsfunkens und eventuell Einfügung einer zeitlich regulierbaren Verzögerung der Wirkung.

Damit die vom vollen Strom der zu schützenden Leitung durchflossenen Hauptkontakte bei der Stromunterbrechung nicht verbrennen, werden parallel zu ihnen leicht auswechselbare Hilfskontakte gelegt, welche zweckmässig aus Kohle bestehen. Da jedoch der Unterschied im Übergangswiderstand zwischen metallischem Hauptkontakt und Kohlenhilfskontakt sehr beträchtlich ist und hierdurch eine funkenfreie Stromunterbrechung am Hauptstromkontakt verhindert wird, so ist es unter Umständen geboten, zwischen Kohlenkontakt und Hauptkontakt nochmals einen metallischen Hilfskontakt wirken zu lassen, wie dieses z. B. von der General Electric Company (Fig. 88) zur Anwendung gebracht ist. Bei der Unterbringung solcher Schalter ist darauf acht zu

1) Vgl. Hdb. VI, 1, S. 262.

geben, dass der auftretende Lichtbogen nicht mit geerdeten Metallteilen in Berührung kommen kann, da dieses Kurzschluss zur Folge haben würde, sofern der entgegengesetzte Pol oder der Nullleiter betriebsmässig geerdet ist.

Hat man eine brauchbare Zusammenstellung aller erforderlichen Schalter, Instrumente und Regulatoren entworfen, so ist der so entstandenen Schalttafel der nötige Halt zu geben. Die einfachste Befestigung ist zwar diejenige unmittelbar an der Gebäudewand, da jedoch aus Sicherheitsgründen sowohl, als auch der luftigeren Anordnung und Zugänglichkeit wegen die Verbindungsleitungen der Schalter und Instrumente auf der Rückseite der Schalttafel ausgeführt werden, so verbietet sich diese Anordnung. Als Träger der Schalttafel konstruiere man einen einfachen eisernen Rahmen aus Profileisen, welcher entweder so mit der Gebäudewand oder mit Gebäudeteilen verankert wird, dass ein freier Raum hinter der Schalttafel von mindestens 1 m verbleibt, oder dieser eiserne Rahmen erhält einen Unterbau, damit derselbe frei stehen kann. In diesem Unterbau, dessen vordere Seite mit perforiertem Blech oder sonstwie abgedeckt wird, ordnet man Leitungen und Hilfsapparate, wie Mess- und Regulierwiderstände an und sorgt vor allem dafür, dass jede unbeabsichtigte Lageveränderung der Leitungen, durch die leicht Kurzschlüsse herbeigeführt werden können, ausgeschlossen ist, in dem alle Leitungen mit hinreichenden isolierenden Stützpunkten versehen werden.

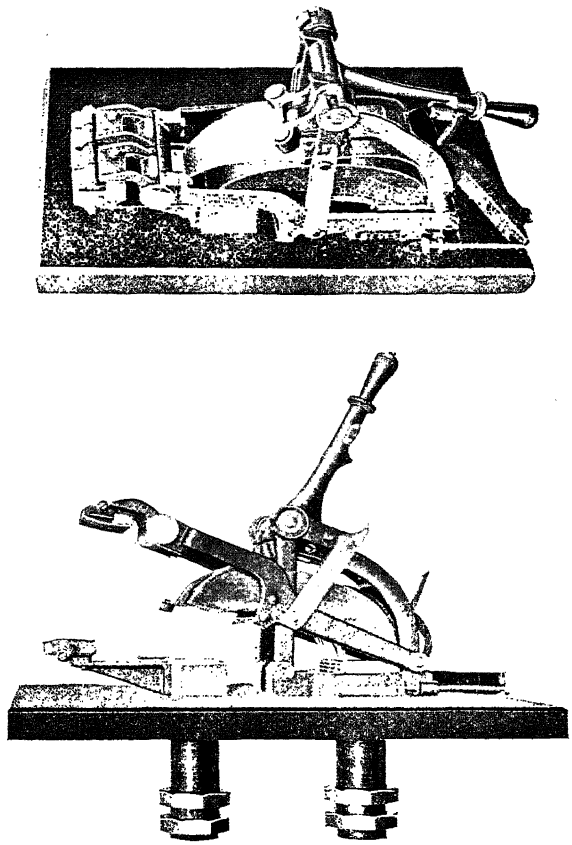


Fig. 88.

Fig. 89 zeigt die von der Firma Siemens & Halske für das Elektrizitätswerk Bonn ausgeführte Schaltanlage für 2×220 Volt, während Fig. 90 das zugehörige Schaltungsschema darstellt. Aus dem letzteren ersieht man, dass die Nebenschlussdynamos auf die Aussenleiter der Sammelschienen arbeiten. Zur Ausgleichung der Belastungsunterschiede beider Netzhälften dienen die Akkumulatorenbatterie und die Ausgleichsdynamos. Mit letzteren ist die Zusatzdynamo zum Laden der Batterie direkt gekuppelt. Während der Batterieladung übernehmen die Ausgleichsdynamos den Ausgleich allein, da die Zusatzdynamo zwischen die beiden Batteriehälften geschaltet wird, während welcher Zeit die Verbindung der Batterie mit der Nullschiene in diesem Falle unterbrochen werden muss.

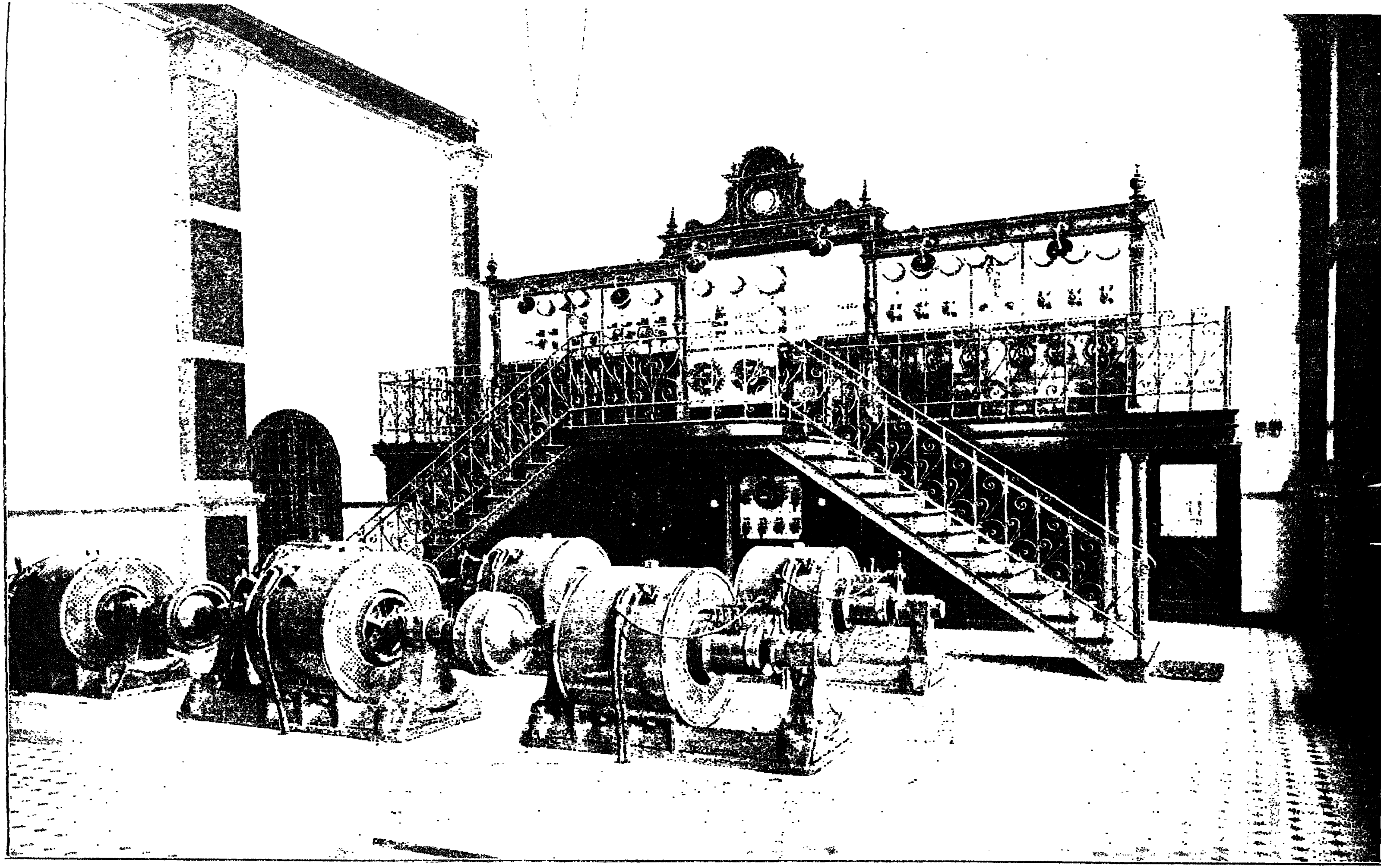
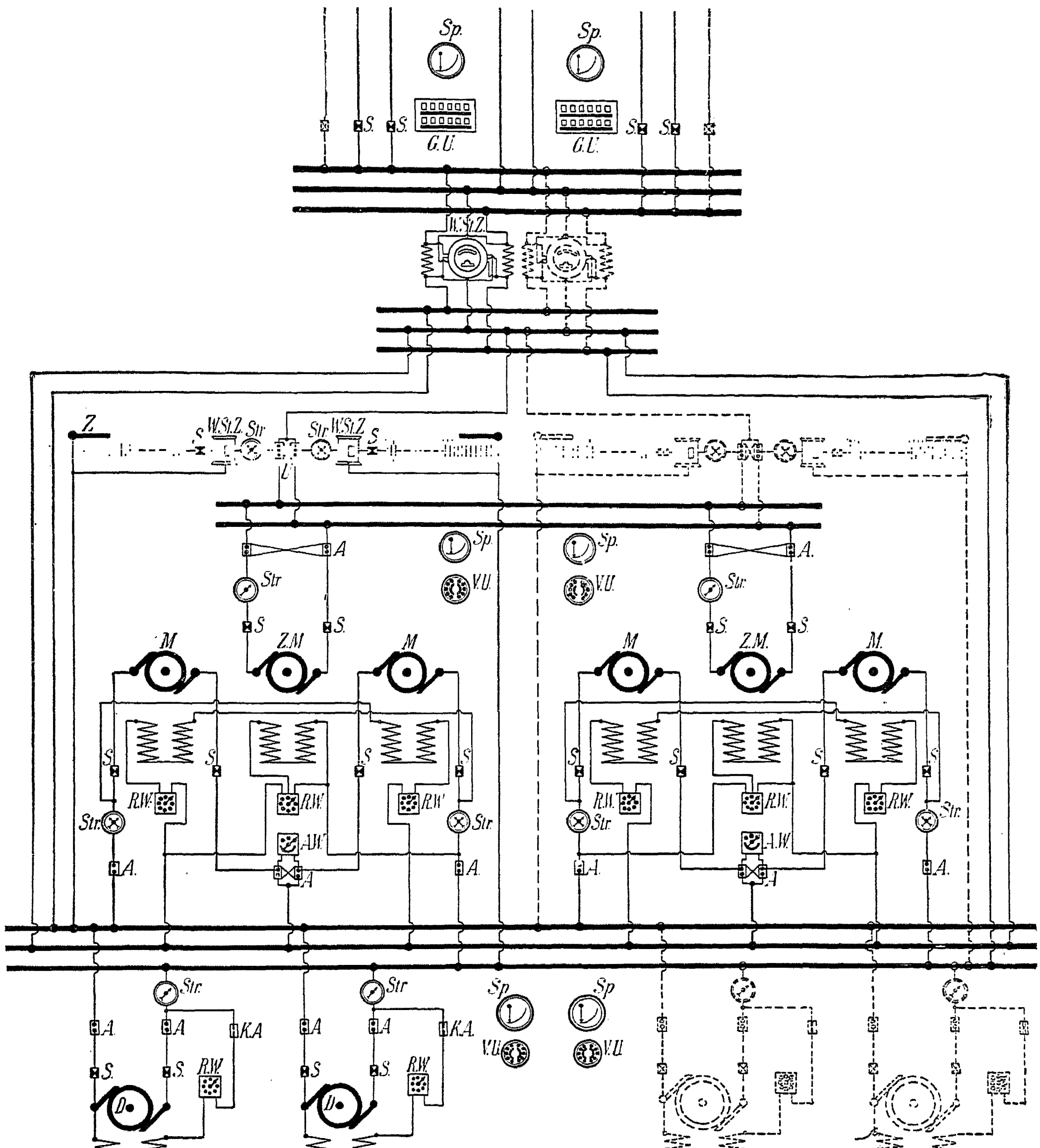


Fig. 89.

An Messinstrumenten, für welche durchweg Präzisionsinstrumente benutzt sind, ist für jede Dynamo ein Amperemeter vorhanden. Die beiden



Zeichen-Erklärung.

D.	Dynamomaschine	Str.	Stromzeiger	S.	Sicherung
Z.M.	Zusatz-Maschine	Sp.	Spannungszeiger	W.St.Z.	Watt-Stunden-Zähler
M.	Motor	V.U.	Voltmeter-Umschalter	G.U.	General-Umschalter für Prüfdrähte
A.W.	Anlass-Widerstand	A.	Ausschalter	Z.	Zellenschalter
R.W.	Regulir- " "	K.A.	Kohlen-Ausschalter		
		U.	Umschalter		

Fig. 90.

Spannungsmesser sind durch Voltmeterumschalter umschaltbar gemacht. Zur Messung der mittleren Netzspannung dient je ein Voltmesser für jede Netz-

hälfte. Mit Hilfe eines Generalumschalters für Prüfdrähte kann auch jede Einzelspannung an den Speisepunkten gemessen werden. Stromzeiger befinden sich ferner in dem Stromkreis jeder Ausgleichsdynamo, der Zusatzdynamo sowie der beiden Batteriehälften. Schliesslich finden noch Wattstundenzähler im Batteriestromkreise und zur Messung der in das Leitungsnetz gesandten Energie Verwendung.

Über die räumliche Anordnung giebt Fig. 89 ein klares Bild. Die aus Marmor mit Eisengerüst bestehende Schaltwand befindet sich auf einem 2·5 m hohen Podium. Der Raum hinter der oberen Schaltwand ist durch seitliche Türen abgetrennt und 1·5 m breit. Alle Sicherungen für Maschinen, Batterie und Speisekabel sind unter dem Podium montiert und von dem übrigen Maschinenraum abgetrennt.

82. Kabelschalttafel. Die auf den Hauptsammelschienen vereinigten Maschinenströme werden den aus der Station hinausführenden Speisekabeln zugeführt. Diese Speisekabel ordnet man zweckmässig an einer besonderen Schalttafel, der Kabelschalttafel an, welche ausser Befestigungsstellen für das Kabel mit seinem Endverschluss Messeinrichtungen zur Bestimmung der Strombelastung jedes Kabels enthält. Diese Messeinrichtung besteht entweder nur aus je einem Shunt für jedes Kabel, an welche ein Messinstrument der Reihe nach angelegt werden kann, oder es wird für jedes Kabel ein besonderes Amperemeter vorgesehen. Die Möglichkeit, die Stromstärke jedes einzelnen Speisekabels messen zu können, ist deshalb geboten, damit man die höchste Inanspruchnahme feststellen kann, um erforderliche Verstärkungen rechtzeitig zur Ausführung zu bringen. Vielfach ist es auch beliebt, jedes Speisekabel mit einem Elektrizitätszähler zu versehen. Die Betriebsrücksichten bedingen solche jedoch nicht.

Schliesslich soll die Kabelschalttafel noch die Sicherheitsschalter, bestehend aus Schmelzsicherungen oder automatischen Maximalstromschaltern, eventuell in Verbindung mit einem Zeitrelais, enthalten.

Im Falle die Station mit verschiedenen Sammelschienenspannungen arbeitet,[1]) ist eventuell für jedes Kabel noch ein Umschalter und ein Spannungsmesser, welcher die Spannung am Ende der Leitung anzeigt, einzufügen. Ist nicht Vorsorge dafür getroffen, dass jedes einzelne Kabel an beliebige Sammelschienenspannungen gelegt werden kann, sondern nur ganze Gruppen solcher Kabel, so sind naturgemäss auch nur für diese Gruppen Umschalteeinrichtungen vorzusehen, wozu mit Vorteil die Ladeschlitten der Zellenschalter in Verbindung mit den Ladesammelschienen herangezogen werden.

83. Hilfsmaschinen-Schalttafel. Die Hilfsmaschinen zur Erhöhung der Sammelschienenspannung für Teile der Betriebsmittel, wie Akkumulatoren und einzelne Speisekabel oder Gruppen solcher, werden ebenfalls an besondere Schalttafeln geführt und von hier aus geschaltet. Die wichtigste Vorsorge ist die, dass dabei der Stromkonsum keine Unterbrechung erleidet. In einfachster Weise wird dieses dadurch bewirkt, dass die Zusatzdynamo bis nach erfolgtem Anlassen in unerregtem Zustande durch einen Schalter, welcher in diejenige Zuleitung eingebaut ist, deren Spannung erhöht werden soll, kurz geschlossen ist und alsdann der Schalter geöffnet wird und durch entsprechende Erregung der Zusatzdynamo die gewünschten Verhältnisse eingestellt werden. Diese Regulierbarkeit der

1) Vgl. zweiten Abschnitt, S. 99.

Zusatzdynamo geschieht bei Nebenschlussdynamos mit Hilfe des Nebenschlussregulators. Bei Hauptstromdynamos wird die Regulierbarkeit dadurch bewirkt, dass parallel zu den Schenkeln ein zweckentsprechender Regulierwiderstand geschaltet wird, welcher auf diese Weise ebenfalls die gewünschte Veränderung des magnetischen Feldes zulässt.

Soll dieselbe Zusatzdynamo sowohl für die eine als die andere Netzhälfte benutzbar sein, so erhält die Hilfsmaschinenschalttafel anstatt gewöhnlicher Maschinenschalter Umschalthebel.

Die regulierbaren Widerstände für den Feldmagnetstromkreis von Dynamos, sowie die Anlasswiderstände für Motoren und die festen Widerstände für Leitungen der verschiedensten Art haben sämtlich den Zweck, eine Spannungsabsorption in dem betreffenden Stromkreise herbeizuführen, deren Wert entweder beliebig einstellbar sein soll, wie bei den Nebenschlussregulatoren und Anlasswiderständen, oder die proportional der Stromstärke ansteigen soll wie bei allen festen Widerständen. Da hiermit eine Umsetzung von elektrischer Energie in Wärme verknüpft ist, so ist für Abführung der entwickelten Wärme Sorge zu tragen. Bei Zusammendrängung vieler solcher Widerstände auf einen kleinen Raum müssen unter Umständen Vorkehrungen zur künstlichen Wärmeabführung getroffen werden. Keinesfalls darf der Aufstellungsort der Widerstände so gewählt werden, dass aus der Wärmewirkung Nachteile für die Umgebung resultieren, was namentlich bei Messinstrumenten und isolierten Leitungen leicht der Fall sein könnte. Widerstände, welche dauernd oder für längere Zeit vom Strom durchflossen werden, sind zweckmässig nur aus Metall herzustellen. Dagegen können alle nur während einer kurzen Zeitdauer benötigten Widerstände, wie Anlasswiderstände, namentlich für höhere Stromstärken mit Vorteil als Flüssigkeitswiderstände ausgebildet werden, da diese den Vorzug grösserer Billigkeit und geringer Rauminanspruchnahme geniessen. 84. Regulatoren und Widerstände.

Um mit möglichst geringen Kosten die Netzspannung konstant zu erhalten, sind vielfach automatische Reguliervorrichtungen im Gebrauch, die sich namentlich für kleinere Elektrizitätswerke, woselbst das Personal fast stets mehrere Funktionen gleichzeitig ausüben muss, empfehlen dürften. Die Einleitung der erforderlichen Verschiebung des Zellenschalters, oder bei Maschinenbetrieb des Regulierwiderstandes, erfolgt durch ein Kontaktvoltmeter, welches einen Hilfsstromkreis bei unrichtiger Spannung schliesst und so ein Kraftwerk in Gang setzt. Dieser Vorgang ist ein sehr einfacher, nur erfordert der automatische Zellenschalterantrieb, der übrigens ausschliesslich für den Entladeschlitten in Frage kommt, noch eine Einrichtung, welche verhindert, dass eine Zelle sich auf den Zwischenwiderstand am Zellenschalterschlitten dauernd entladen kann, dass also die Hilfsbürste nach erfolgter Regulierung stets auf Isolation ruht. Hierfür giebt es sehr viele brauchbare Lösungen, die meistens darauf beruhen, dass eine Ausschaltung des Kraftwerkes erst erfolgen kann, wenn die Hilfsbürste des Zellenschalters den Kontakt gänzlich verlassen hat, was sowohl durch mechanische als auch elektrische Hilfsmittel erreichbar ist. Damit ferner die Bewegung an beiden Enden der Kontaktbahn begrenzt wird, sind sowohl an den automatischen Zellenschaltern, als auch an den automatischen Regulatoren Hilfsschalter anzubringen, welche die Abschaltung des Kraftwerkes im gegebenen Moment veranlassen und alsdann nur noch die entgegengesetzte Bewegung zulassen. 85. Automatische Reguliervorrichtungen.

b) Wechselstromwerke.

86. Generatoren. Ausser den bei den Gleichstromgeneratoren S. 165 gebrachten allgemeinen Ausführungen kommen bei Wechselstromgeneratoren noch besondere Gesichtspunkte in Betracht, welche teils durch die Stromart, teils durch die Höhe der zur Anwendung gelangenden Spannung bedingt werden. Bei der Bemessung der Maschineneinheiten ist zunächst zu berücksichtigen, dass der Vorteil der Gleichstromwerke, der Antriebsmaschine in den Zeiten geringen Stromkonsums durch das Laden des Akkumulators eine gute Belastung zu geben und den Stromkonsum nachts ganz aus der Batterie decken zu können, in Fortfall kommt. Es empfiehlt sich daher bei Wechselstromwerken, besonders bei überwiegender Stromlieferung für Beleuchtungszwecke, für die Zeiten geringen Konsums eine entsprechend kleine Maschine zur Aufstellung zu bringen, wenn man nicht in der Lage sein sollte, durch besondere günstige Preisbemessung namentlich für Kraftstrom eine lange dauernde und hinreichende Tagesbelastung zu erzwingen. Das verschiedentlich in Vorschlag gebrachte Mittel, tagsüber einen Akkumulator zu laden, aus dem unter Benutzung eines Gleichstrom-Wechselstrom-Umformers die Energielieferung zur Zeit des geringsten Stromkonsums erfolgt, dürfte nur in den allerseltensten Fällen Ersparnisse gegenüber dem Betrieb mit einem kleinen, direkt betriebenen Wechselstromgenerator ergeben. Es werden die Verluste durch die mehrfache Umformung der Energie, zu der sich noch Verzinsung und Amortisation des Anlagekapitals, sowie die besonderen Aufwendungen für Bedienung und Unterhaltung dieser zusätzlichen Betriebsmittel gesellen, in den seltensten Fällen den Mehraufwand an Feuerungsmaterial, selbst bei gänzlich unbelastet laufenden Generatoren, aufwiegen.

Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt bei Errichtung eines Wechselstromwerkes ist die Festlegung der Periodenzahl. Dieselbe ist in erster Linie von hervorragendem Einfluss auf die Qualität des erzeugten Lichtes. Zu geringe Periodenzahlen machen sich dem Auge durch Flackern des Lichtes unangenehm bemerkbar. Besonders empfindlich hiergegen ist das Bogenlicht. Sobald der Wechselstrom daher zu Beleuchtungszwecken dienen soll, wähle man die Periodenzahl nicht unter 50 per Sekunde. Auf dem Kontinente ist diese Periodenzahl die gebräuchlichste. Handelt es sich jedoch ausschliesslich um Energieübertragung nach Unterstationen, woselbst der Wechselstrom eine Umwandlung in Gleichstrom erfährt, so ist, da hierfür die rotierenden Konverter oder Einanker-Umformer wirtschaftlich am vorteilhaftesten sind, die weitgehendste Rücksichtnahme auf die Anforderungen dieser Maschinen geboten. Erfahrungsgemäss wachsen die Schwierigkeiten der Herstellung eines betriebssicheren Konverters, ausser mit der Höhe der Gleichstromspannung, ganz wesentlich mit zunehmender Wechselzahl. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, für grosse Betriebe eine Periodenzahl unter 50 zu wählen und man trifft namentlich in den Vereinigten Staaten die Periodenzahl von 25 für den Betrieb von Konvertern vorwiegend an.

Bei Wechselstromcentralen, sowohl für Einphasen- wie Mehrphasenstrom, kommt wohl ausschliesslich eine erhöhte Primärspannung in Betracht, die mit Hilfe von Transformatoren auf die Gebrauchsspannung herabtransformiert wird. Die Höhe der Spannung richtet sich darnach, auf welche Entfernung die Energie noch wirtschaftlich übertragen werden kann, doch wähle man

dieselbe nicht höher als aus wirtschaftlichen Gründen unumgänglich notwendig ist, da die Schwierigkeiten mit zunehmender Spannung nicht unwesentlich wachsen.

Handelt es sich, wie wohl stets in Centralen der Fall, um das Parallelarbeiten mehrerer Wechselstromdynamos, so sind unter Umständen besondere Vorkehrungen am Platze, um ein tadelloses Parallelarbeiten zu gewährleisten. Die besten Vorbedingungen für den Parallelbetrieb sind bei Antriebsmaschinen mit vollkommen gleichförmiger Drehbewegung gegeben, wie Turbinen, gleichviel, ob die Betriebskraft Dampf oder Wasser ist. Bei allen anderen Antriebsmaschinen ist durch hinreichend grosse Schwungmassen der Ungleichförmigkeitsgrad auf einen annehmbaren Wert zu bringen. Aber auch die Wirkungsweise des Regulators muss eine präzise sein, und darf dieselbe zu wiederholtem Überregulieren bei Belastungsänderungen keinen Anlass geben. Ein vorzügliches Hilfsmittel, das tadellose parallele Arbeiten der Wechselstromdynamos selbst unter erschwerenden Umständen zu gewährleisten, ist durch die Verwendung der Leblanc schen Dämpfer gegeben, da dieselben die Tendenz zum Pendeln bereits im Keime zu ersticken streben und mit zunehmender Gefahr des Aussertrittfallens ihre Wirksamkeit verstärken.

Bei den Wechselstromdynamos ist noch besondere Rücksicht hinsichtlich des Spannungsabfalles geboten. Während bei Gleichstrommaschinen der Spannungsabfall unter Konstanthaltung der Tourenzahl lediglich vom Ankerwiderstand und der Rückwirkung des Ankerstromes auf das erregende magnetische Feld abhängt, tritt bei Wechselstrom noch der Umstand hinzu, um wieviel der Strom gegen die Spannung verschoben ist. Je höher nämlich die Phasenverschiebung ist, um so mehr stehen die Ankeramperewindungen während ihres maximalen Wertes unter dem erregenden Pol und um so grösser ist naturgemäss auch die Ankerrückwirkung und demzufolge der Einfluss auf die Spannung. Will man daher bei nennenswerter Stromabgabe für Motoren die lästigen Spannungsschwankungen vermeiden, so ist für den Spannungsabfall bei der vorliegenden Phasenverschiebung ein Grenzwert bei der Bestellung der Dynamo vorzuschreiben.

Schliesslich empfiehlt es sich noch, namentlich bei Verwendung hoher Maschinenspannungen, auf leichte Auswechselbarkeit defekter Spulen zu sehen, da die Gefahr des Durchschlagens nicht nur infolge der vielseitigen Gelegenheit für die Bildung von Überspannungen eine erhöhte ist, sondern auch durch sonstige Einflüsse gesteigert wird, wie hohe mechanische Beanspruchung des Isoliermaterials wegen der durch den Wechselstrom hervorgerufenen molekularen Vibrationen, sowie die unvermeidlichen Ablagerungen von Staubpartikelchen, die in die feinsten Risse eindringen und durch Bildung einer leitenden Brücke leicht zum Kurzschluss Anlass geben. Nicht unerwähnt sei, dass es im Interesse der höheren Betriebssicherheit vorzuziehen ist, die Wechselstromdynamos mit feststehenden Primärwicklungen und rotierendem Magnetsystem auszuführen.

Als Hilfsmaschinen kommen in erster Linie die Erregermaschinen in Betracht. Wenngleich es neuerdings gelungen ist, selbsterregende Wechselstromgeneratoren zu bauen, so liegen doch noch zu wenig Erfahrungen im Betriebe vor, um hierüber bereits ein abschliessendes Urteil fällen zu können. Die bisher übliche Art der Erregung erfolgt von einer besonderen Gleichstromquelle aus. Für die letztere kann eine Dynamomaschine allein oder in Verbindung mit einer Akkumulatorenbatterie benutzt werden. Wird die Cen- **87. Hilfsmaschinen.**

trale auch zur Erzeugung oder Verteilung von Gleichstrom benutzt, so kann naturgemäss der Erregerstrom direkt von diesem Teil der Anlage entnommen werden, vorausgesetzt, dass die verfügbare Gleichstromspannung sich in angemessenen Grenzen hält und konstant ist.

Wählt man, wie üblich, besondere Erregermaschinen, welche höchstens noch zur Stationsbeleuchtung herangezogen werden sollen, so können dieselben entweder direkt mit den Hauptmaschinen gekuppelt werden, oder es wird für alle Generatoren gemeinsam eine Centralerregeranlage geschaffen. Als Antriebsmaschine kann sowohl ein Elektromotor als auch die gleiche Kraftquelle wie für Generatoren gewählt werden. Schliesslich können auch Konverter zur Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom benutzt werden. Die Vorteile der direkten Kupplung der Erreger mit der Hauptmaschine liegen darin, dass mit dem Anfahren des Wechselstromgenerators auch gleichzeitig der Erregerstrom zur Verfügung steht, sowie dass jeder Generator in seiner Erregung unabhängig von andern gehalten werden kann. Der Nachteil dieser Anordnung besteht in erster Linie bei niedriger Tourenzahl der Antriebsmaschine in dem dadurch bedingten wesentlich höheren Preis der Erregerdynamo, sowie darin, dass ein Defekt an dieser Hilfsmaschine die Betriebsunfähigkeit des ganzen Generators zur Folge hat.

Wird eine Centralerregeranlage geschaffen, so empfiehlt sich die Wahl der gleichen Antriebskraft wie für den Wechselstromgenerator nur dann, wenn dieselbe auch in wirtschaftlicher Beziehung befriedigt. Andernfalls ist der elektrische Antrieb vorzuziehen. Da jedoch der Elektromotor mit Wechselstrom betrieben wird, dieser aber erst zur Verfügung stehen kann, nachdem die Generatoren erregt sind und so den Strom zu liefern vermögen, so sind besondere Hilfsmittel für die erste Ingangsetzung zu schaffen. In sehr einfacher Weise wird diese Frage durch die Zufügung einer kleinen Akkumulatorenbatterie zur Erregeranlage gelöst. Die Grösse der Batterie wählt man zweckmässig so, dass dieselbe den Bedarf an Erregerstrom während einer Stunde zu decken vermag. Fallen jedoch die Kosten einer solchen Batterie zu sehr ins Gewicht, so sind zum Antrieb der Erregerdynamo für die Dauer der ersten Ingangsetzung mechanische Hilfseinrichtungen zu schaffen, sei es durch abkuppelbare Riemen oder Zahnradtriebe oder durch besondere kleine und billige Antriebsmotore, die mit Gas, Druckluft oder sonst verfügbarer Energie betrieben werden können.

An sonstigen Hilfsmaschinen kommen in besonderen Fällen die sogenannten wattlosen Maschinen in Betracht. Bekanntlich befindet sich bei Wechselstromanlagen der Strom nur dann in Phase mit der Spannung, wenn es sich um eine induktionsfreie Belastung handelt. Je grösser die Phasenverschiebung ist, also je ungünstiger der Leistungsfaktor ausfällt, um so geringer ist für dieselbe Stromstärke die effektive Leistung. Da aber die Grenze für die Leistungsfähigkeit des Generators durch die Erwärmung desselben gegeben ist, diese aber vorwiegend von der Stromstärke abhängt, so kann bei einem ungünstigen Leistungsfaktor der Centrale die Antriebsmaschine nicht voll belastet werden, oder aber es sind die Generatoren um den Einfluss des Leistungsfaktors grösser zu wählen. Da dieses naturgemäss mit einer Preissteigerung verknüpft ist, so kann unter Umständen die Aufstellung einer besonderen Maschine, welche die Lieferung des gesamten wattlosen Stromes übernimmt, und mit relativ hoher Tourenzahl laufen kann, um an Kosten zu sparen, am Platze sein. Die Wirkung dieser Maschine wird

nicht beeinträchtigt, wenn dieselbe erst von den Sekundärklemmen eines Transformators gespeist wird. Eine solche Maschine besteht in einem Synchronmotor, dessen Erregung so eingestellt wird, dass derselbe die gesamte Differenz zwischen scheinbarer und effektiver Leistung der Centrale übernimmt, für welche maximale Leistung derselbe natürlich dimensioniert sein muss. Dabei ist es sogar zulässig, denselben bis zu einem gewissen Grade noch mechanische Arbeit leisten zu lassen.

Für die innere Einrichtung der Station können Transformatoren sowohl zur Spannungserhöhung als auch zu deren Herabminderung zur Verwendung kommen. Ein partielles Hinauftransformieren der vom Generator gelieferten Spannung für gewisse Speiseleitungen ist angezeigt, wenn extrem gelegene Konsumgebiete mit der normalen Spannung wirtschaftlich nicht mehr versorgt werden können. Für die gesamte von den Generatoren gelieferte Energie käme ein solches Verfahren jedoch nur in Frage, wenn die benötigte Betriebsspannung in sicherer Weise nicht mehr direkt in den Generatoren erzeugt werden könnte, welche Grenze etwa bei 15000 Volt liegen dürfte. Es ist bei Einführung einer Transformierung zu berücksichtigen, dass der Wirkungsgrad der Anlage nicht nur während der Stromentnahme eine Herabminderung um mindestens 2—6 % erfährt, sondern die Transformatoren verursachen infolge der ständig aufzuwendenden Magnetisierungsarbeit dauernde Verluste, auch wenn kein Stromkonsum vorhanden ist, die nur bei sehr billiger Betriebskraft zu vernachlässigen sind. Für eine überschlägliche Rechnung kann man den Anteil der Magnetisierungsarbeit gleich der Hälfte an dem Gesamtverlust im Transformator bei Vollbelastung einsetzen, so dass z. B. ein 150 KW-Transformator, dessen Wirkungsgrad 0·95 beträgt, im ganzen Jahre an Magnetisierungsverlusten verursacht: $0{\cdot}025 \cdot 150 \cdot 365 \cdot 24 = 32\,850$ KWStd. Rechnet man die reinen Betriebsausgaben pro erzeugte Kilowattstunde nur zu Mk. 0·03, so ergiebt sich ein jährlicher Verlust durch den einen Transformator allein an Magnetisierungsarbeit von Mk. 985·50. 88. Transformatoren.

Transformatoren zur Spannungserniedrigung werden in den Stationen benötigt, einmal für den Bedarf an Licht und zum Betrieb der kleineren Motoren und andererseits für Konverter. Aus Sparsamkeitsrücksichten empfiehlt es sich, die Transformatoren während der Dauer der Stromlosigkeit der sekundären Anschlüsse auch primärseitig eventuell automatisch[1]) abzuschalten. Um dieses durchführen zu können, empfiehlt es sich, die verschiedenen Stromverbrauchsapparate je nach der Dauer und Zeit ihrer Inanspruchnahme in Gruppen zusammenzufassen und an getrennte Transformatoren anzuschliessen.

Der in den Transformatoren auftretende Verlust setzt sich in Wärme um, für deren ungehinderte Ableitung Sorge zu tragen ist. Soll die umgebende Luft die Wärme ohne künstliche Hilfsmittel aufnehmen, so wird der Transformator eine solche Temperatur über die der Umgebung annehmen, bis das Temperaturgefälle die Ableitung des durch die Grösse des Energieverlustes im Transformator bedingten Wärmestromes ermöglicht. Da die Wärmeabgabe an der Berührungsfläche mit der Luft teils durch Strahlung, teils durch Leitung vor sich geht, so bleibt der Transformator um so kühler, je grösser die Oberfläche desselben ist. Andererseits lassen sich mit der Reduktion des aktiven Materials die Gesamtverluste im Transformator bis

1) Vgl. Hdb. VI, 1, S. 288.

zu einem gewissen Betrage herabmindern, weshalb man im Interesse der Erniedrigung des Anschaffungspreises eine Verkleinerung der Dimensionen des Transformators eintreten lassen kann, sofern für künstliche Ableitung der Wärme Sorge getragen wird oder durch künstliche Vergrösserung der Abkühlungsoberfläche eine Temperatursteigerung über das zulässige Mass vermieden wird. Eine äusserst wirksame Abführung der Wärme lässt sich mit Hilfe eines durch einen Ventilator erzeugten Luftstromes erreichen, wie dieses in amerikanischen Centralen vielfach beliebt ist. Eine künstliche Vergrösserung der Abkühlungsoberfläche lässt sich in einfacher Weise erreichen, wenn der Transformator in einen Kasten mit Öl gesetzt wird. Die Oberfläche des Kastens, die zur besseren Wirkung gewellt hergestellt wird, hat die Wärme an die Luft abzugeben und das Öl dient zur Übertragung der Wärme vom Transformator zum Kasten. Ausserdem leistet das Öl auch wegen seiner elektrisch isolierenden Eigenschaften noch sehr gute Dienste. Schliesslich kann auch bei einem Öltransformator durch Einbau von Kühlschlangen noch

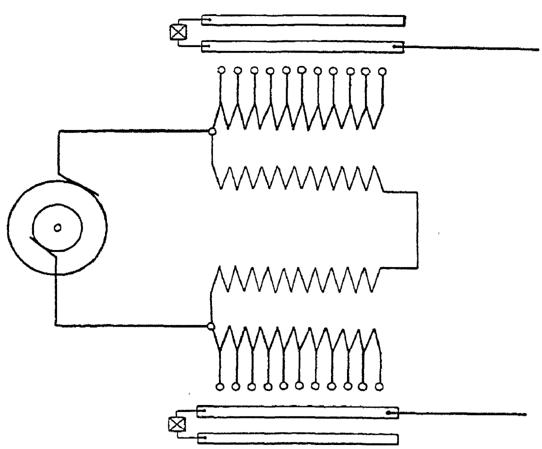


Fig. 91.

für erhöhte künstliche Abführung der Wärme Sorge getragen werden. Bei der Verwendung von Öltransformatoren ist darauf acht zu geben, dass das Öl vollkommen wasserfrei ist, da sonst leicht ein Durchschlagen der Isolation eintreten kann. In einfacher Weise wird das Öl durch Erhitzen des letzteren auf etwas über 100° C. vor der Inbetriebnahme wasserfrei gemacht, wobei natürlich den entwickelten Dämpfen Gelegenheit gegeben werden muss, frei abzuziehen.

Die Möglichkeit, mit Hilfe von Transformatoren in einfachster Weise beliebige Sekundärspannungen zu erzeugen, hat dazu geführt, dieselben für verschiedene Spezialzwecke in den Centralen nutzbar zu machen. Ausser zum Betriebe eines Teiles der Speiseleitungen mit höherer Spannung, wie bereits im Vorstehenden erwähnt, lässt sich ein Transformator auch regulierbar herstellen, um den jeweiligen Spannungsverlust besonders ungünstig beanspruchter Leitungen auszugleichen. In diesem Falle kann z. B. je nach der Grösse des Spannungsverlustes eine variable Anzahl der Sekundärwicklungen mit der Fernleitung in Serie geschaltet werden (Fig. 91). Die Sekundärwicklungen werden zu diesem Zwecke unterteilt und von den einzelnen

Gruppen Ableitungen an eine Kontaktbahn geführt, von der der Strom weiter geleitet wird. Diese Art der Regulierung gestattet zwar die Spannung in sehr weiten Grenzen zu variieren, hat aber den Nachteil, dass die Einrichtung durch die Kontaktbahn, welche in derselben Weise, wie bei Zellenschaltern mit zwei Bürsten und Zwischenwiderstand auszurüsten ist, sowohl verteuert wird, als auch in bezug auf Betriebssicherheit manches zu wünschen übrig lässt. Eine wesentlich zweckmässigere Art der Spannungsregulierung lässt sich mit Hilfe der Potentialregulatoren (Fig. 92) ermöglichen, bei denen die Spannungsänderung nur durch eine Drehung eines Eisenkernes, welche eine Änderung der magnetischen Induktion der Sekundärwicklungen bewirkt,

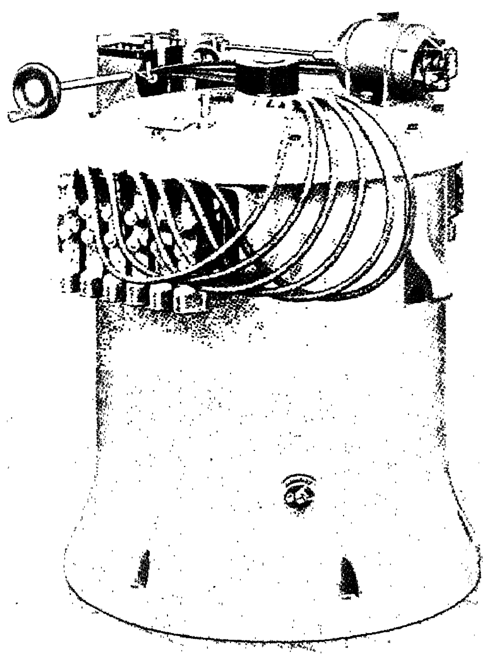


Fig. 92.

herbeigeführt wird. Diese Potentialregulatoren finden ferner weitgehende Anwendung in Verbindung mit Konvertern, um die erzielte Gleichstromspannung ohne Phasenverschiebung im Wechselstromkreise unter Konstanterhaltung der Wechselstrom-Sammelschienenspannung regulierbar zu machen.

Eine weitere Anwendung der Transformatoren für spezielle Zwecke ist durch die Transformatoren für konstante Stromstärke (Fig. 93 u. 94) ermöglicht. Dieselben finden Anwendung bei Wechselstrom-Serienbogenlichtstromkreisen. Damit beim Verlöschen einzelner Lampen oder bei ungünstigem Regulieren des Bogenlampenmechanismus die Stromstärke trotzdem einen konstanten Wert beibehält, ist es erforderlich, die Gesamtspannung entsprechend zu variieren. Bei konstantem Übersetzungsverhältnis der Wicklung des Transformators ist dieses nur erreichbar durch entsprechende Änderung

der magnetischen Induktion. Dieselbe wird bei den Transformatoren für konstante Stromstärke in sehr ingenieuser Weise durch Änderung des Streufeldes erzielt, indem die Sekundärspule leicht beweglich auf dem in die Länge gezogenen Eisenkerne angeordnet ist. Durch die dynamische Wirkung findet zwischen Primär- uud Sekundärspule Abstossung statt, welche durch die Gewichte für eine bestimmte Stromstärke ausgeglichen wird. Ändert sich nun wegen Widerstandsänderung des Lampenstromkreises die Stromstärke, so ist das Gleichgewicht gestört und die Sekundärspule nimmt eine neue Gleichgewichtslage ein. Sache der konstruktiven Ausführung ist es,

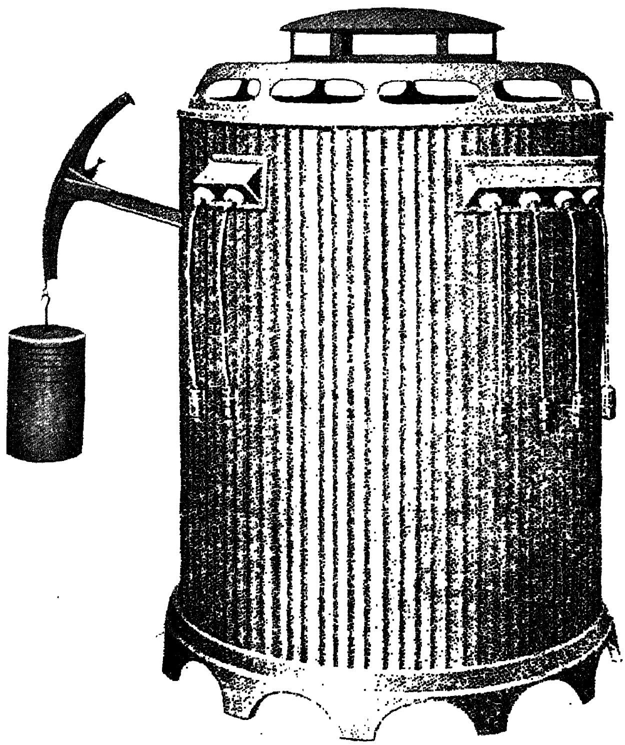


Fig. 93.

zu bewirken, dass mit nur geringer Änderung der Stromstärke die erforderliche Spannungsänderung im Sekundärstromkreis bewirkt wird.

Vielfach verbieten es die Verhältnisse bestimmter Gattungen von Betriebsmitteln, dieselben direkt an die normale Betriebsspannung anzulegen und verlangen eine allmähliche Steigerung der Spannung, wie z. B. grössere Drehstrommotoren mit Kurzschlussanker wegen der Rückwirkung auf die Antriebsmaschinen, oder sehr lange Kabelleitungen unter Anwendung hoher Spannungen wegen der Gefahr des Auftretens von Überspannungen und daraus resultierenden Durchschlägen von Generatoren und Leitungen. Hier bieten die Anlasstransformatoren ein willkommenes Hilfsmittel. Betrachten wir beispielsweise einen Drehstromtransformator, so entfällt bekanntlich unter

der Voraussetzung, dass alle Windungen dem Wechsel der gleichen Anzahl Kraftlinien unterworfen sind, auf jede Windung der gleiche Anteil an der Klemmenspannung. Je mehr Windungen also abgeteilt werden, um so höhere Spannung erhält man. Legt man daher die Klemmen des Motors oder das unter Spannung zu setzende Hochspannungskabel, vom Mittelpunkt des Anlasstransformators beginnend, allmählich an eine immer grössere Anzahl der Transformatorwindungen, so wird in demselben Masse die Spannung an diesen Betriebsmitteln gesteigert und die resultierende Stromstärke in den gewünschten Grenzen gehalten. Fig. 95 zeigt das Schaltungsschema und

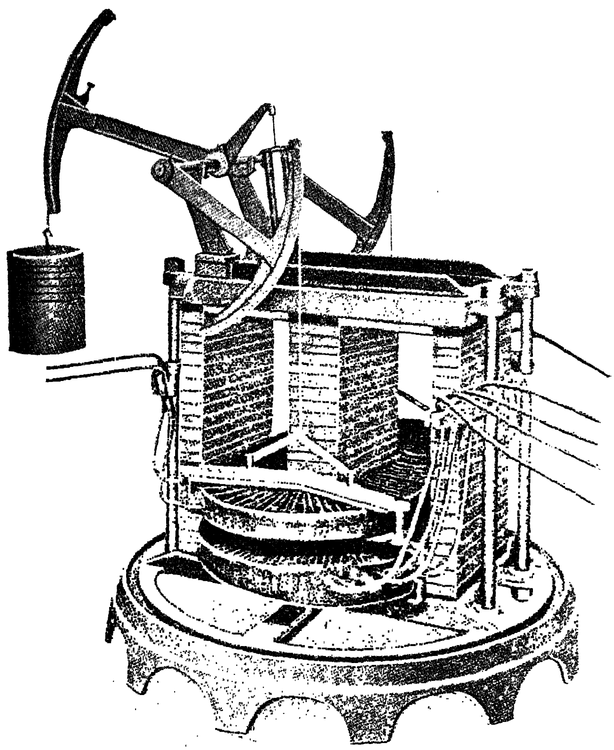


Fig. 94.

Fig. 96 die innere Einrichtung eines zweistufigen Anlasstransformators der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, bei dem die erste Stufe die halbe Netzspannung und die zweite Stufe die volle Netzspannung giebt.

Die allgemeinen Gesichtspunkte, welche bei Besprechung der Anordnung und Konstruktion der Gleichstromschalttafeln gebracht sind, gelten auch für die Wechselstromschalttafeln. 89. Schalttafeln.

Wir wollen uns daher an dieser Stelle lediglich mit denjenigen Teilen befassen, welche spezifisch für Wechselstrom erforderlich sind. Handelt es sich um hochgespannte Ströme, so sind insbesondere die Momente der Sicherheit, sowohl des Bedienungspersonals, als auch des Betriebes ins Auge zu fassen.

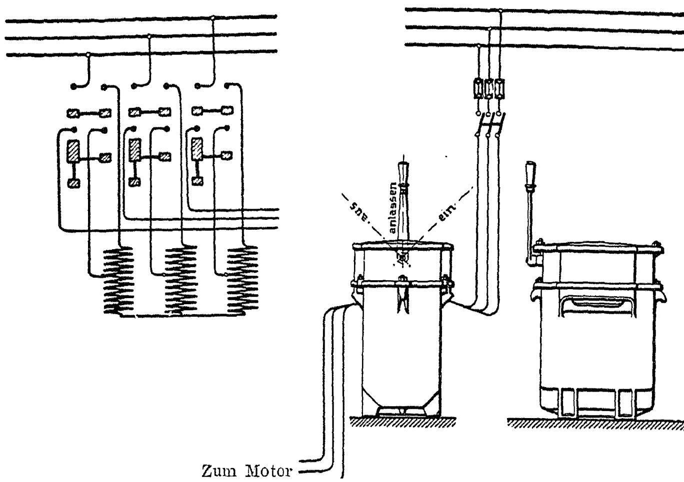


Fig. 95.

Es möge auch hier zunächst eine Besprechung zweier Schaltungsschemata von zwei ausgeführten Hochspannungsanlagen Platz greifen. Fig. 97 zeigt ein solches für die elektrische Kraftübertragungsanlage Eichdorf-Grünberg in Schlesien, welche die elektrische Energie auf eine Entfernung von 25 km zu übertragen hat und von der Firma Siemens & Halske für eine Drehstromspannung von 10000 Volt bereits im Jahre 1895 errichtet worden ist. Die drei Drehstromgeneratoren erzeugen Drehstrom von 3 × 225 Volt, und besitzt jeder Generator seinen eigenen Erreger für 110 Volt. Die niedrig gespannten Ströme werden zunächst Sammelschienen zugeführt und fliessen von da zu den Transformatoren, welche den hochgespannten Strom alsdann an die Hochspannungssammelschienen abgeben. Die Spannungsregulierung erfolgt durch die in den Magnetstromkreis der Erreger eingeschalteten Nebenschlussregulatoren. Für jede Maschine ist ein Hauptausschalter und drei Schmelzsicherungen vorhanden; ferner an Messinstrumenten ein Gleichstromamperemeter für den Erregerstromkreis, ein Drehstrom-Amperemeter und ein Wattmeter. Als Phasenvergleicher



Fig. 96.

beim Parallelschalten dienen Glühlampen in Verbindung mit einem Spannungszeiger, welche durch zwei Umschalter mit den parallel zu schaltenden Generatoren verbunden werden können. Die Transformatoren sind sowohl nieder- als auch hochspannungsseitig durch Schmelzsicherungen gesichert. Ausserdem ist in Verbindung mit den Hochspannungssammelschienen ein Blitzableiter mit Hochspannungsausschalter im Erdstromkreis installiert. Die ganzen Messungen beschränken sich auf die Niederspannungsseite.

Das andere Schaltungsschema (Fig. 98) stellt die Anordnung des elektrischen Teiles der von der Firma Brown, Boveri & Co. entworfenen und

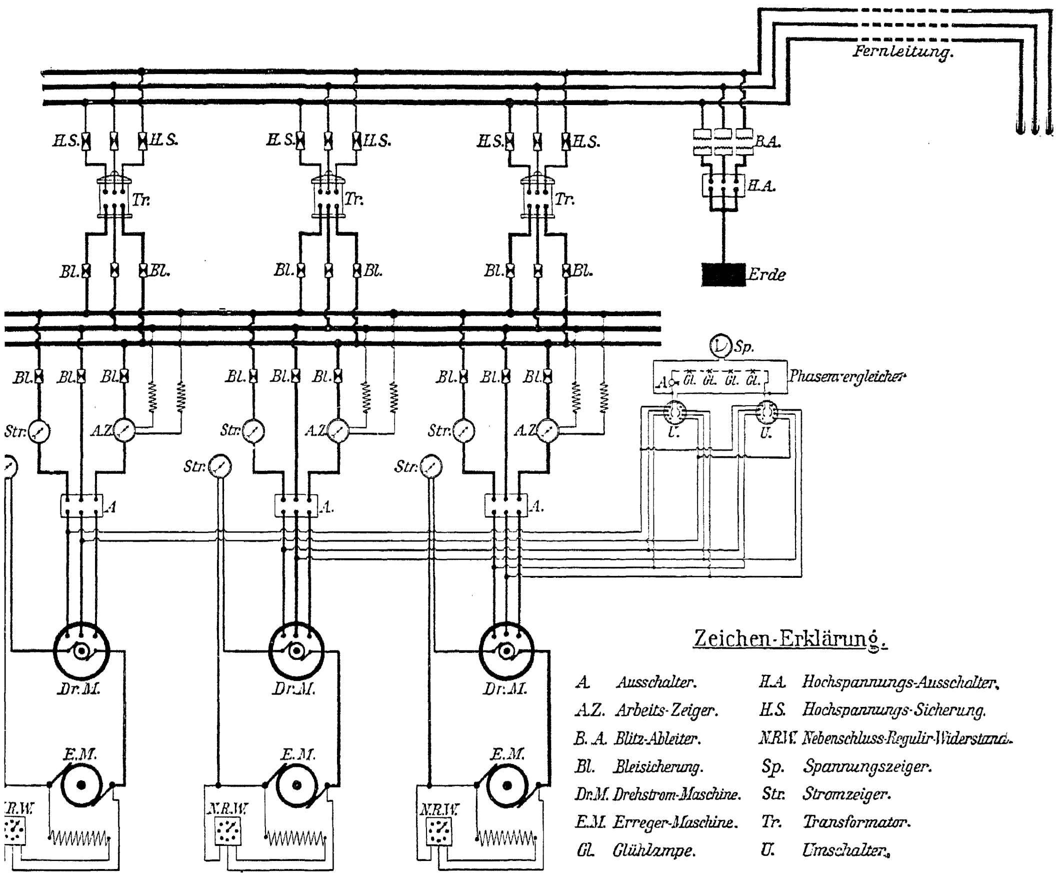


Fig. 97.

1904 gebauten Drehstrom-Kraftübertragungsanlage Gromo-Nimbro dar, welche für eine Maschinenspannung von 4000 Volt und eine Leitungsspannung von 40000 Volt bestimmt ist. Bei dieser Anlage haben alle modernen Hilfsmittel der Sicherheitstechnik auf das weitgehendste Berücksichtigung gefunden, und kann dieselbe sowohl in bezug auf Disposition als auch der Detailkonstruktion als mustergültig hingestellt werden.

Das Schaltungsschema ist entsprechend der Raumeinteilung des Gebäudes (Fig. 99) in sieben horizontale Abschnitte geteilt, und es umfasst Teil I die Erregermaschinen und Generatoren, Teil II die in den Magnetstromkreis der Generatoren eingeschalteten Regulierwiderstände, die Stromwandler und

Messtransformatoren und die Schmelzsicherungen für jede Maschine, Teil III die Schalttafel, Teil IV die Transformatoren, Teil V die Hauptschalter für

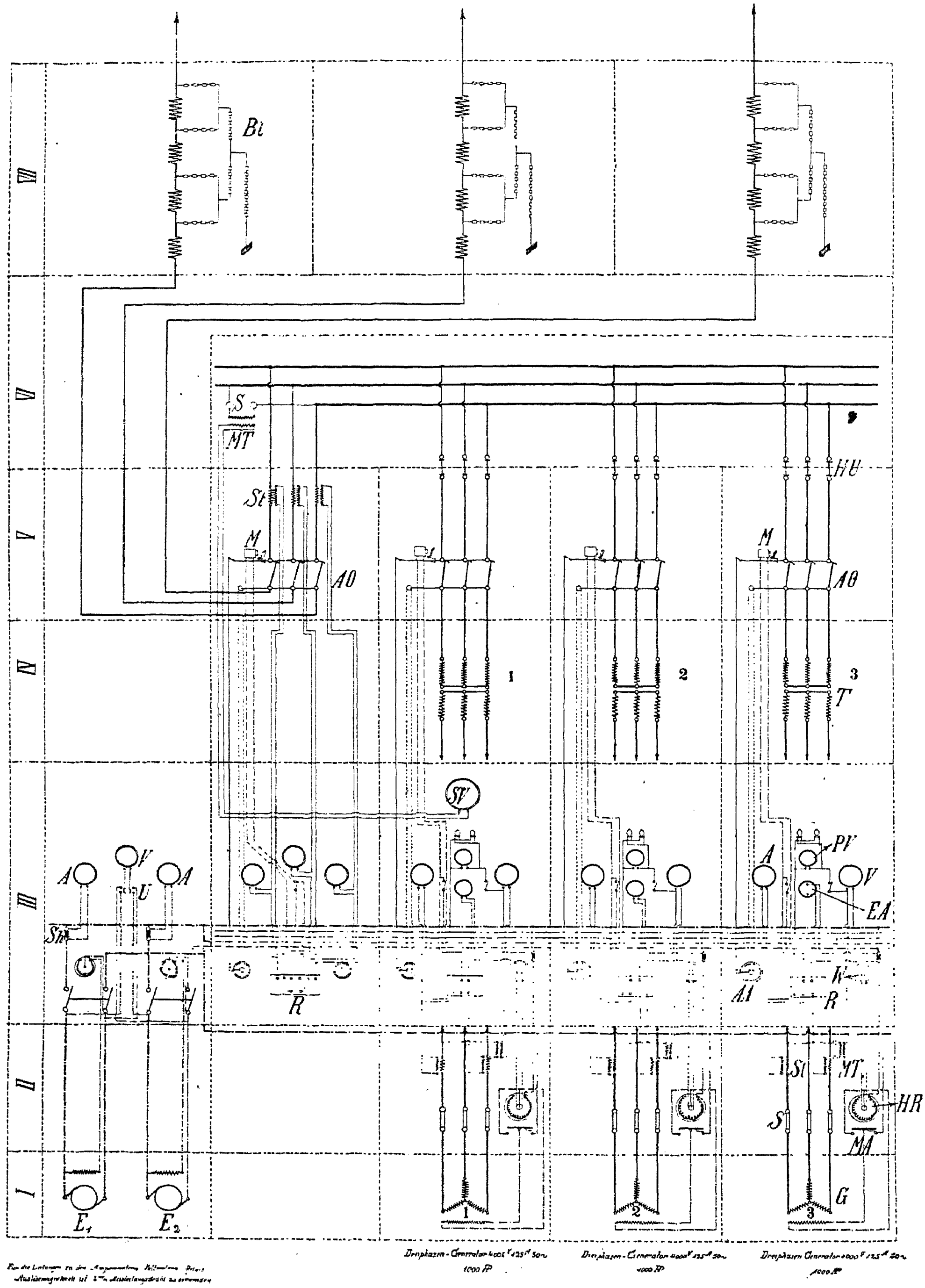


Fig. 98.

40 000 Volt, Teil VI die Sammelschienen und die Hochspannungstrennschalter und Teil VII die Freileitung mit den Blitzableitern. Jeder Generator bildet

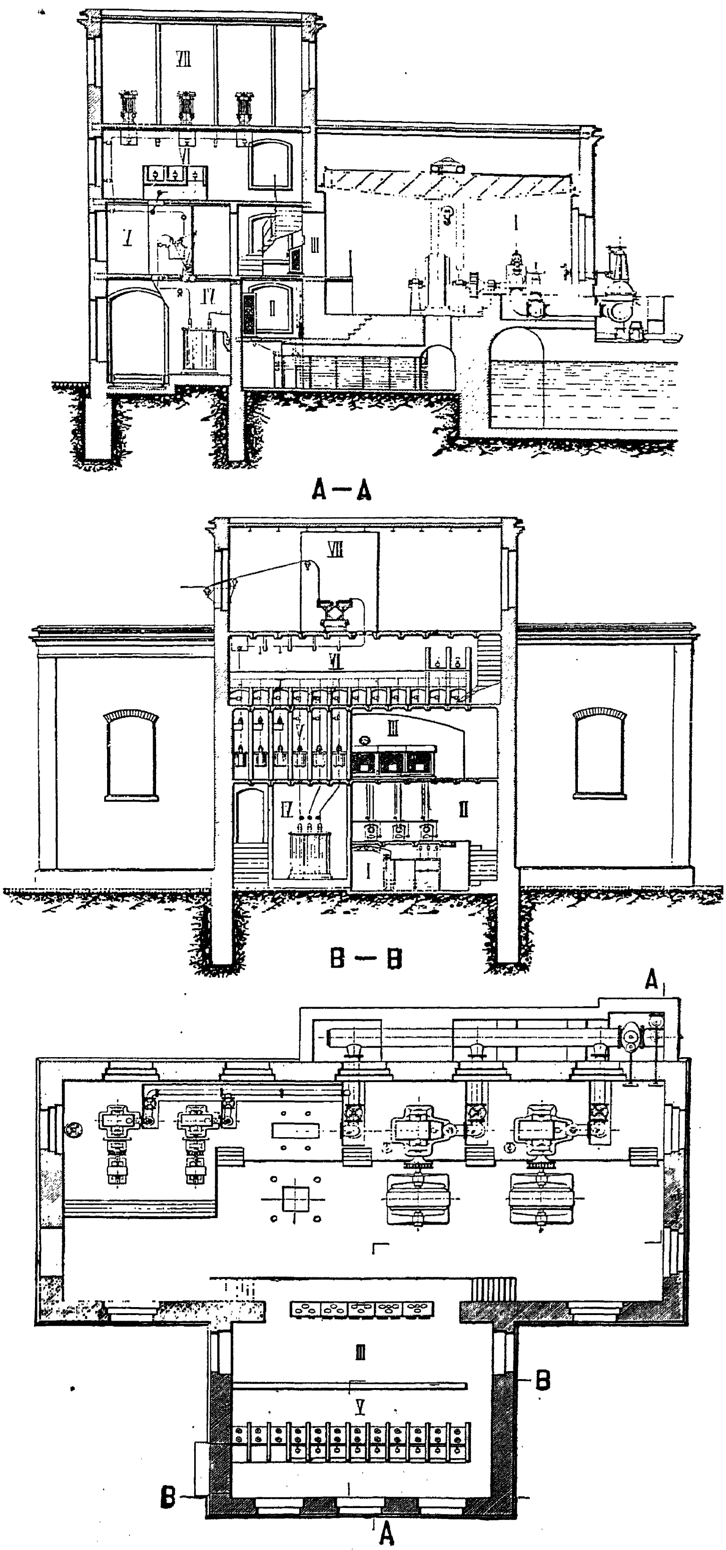


Fig. 99.

mit dem zugehörigen Transformator ein vom übrigen Teil unabhängiges organisches Ganzes und erfolgt die betriebsmässige Schaltung nur auf der

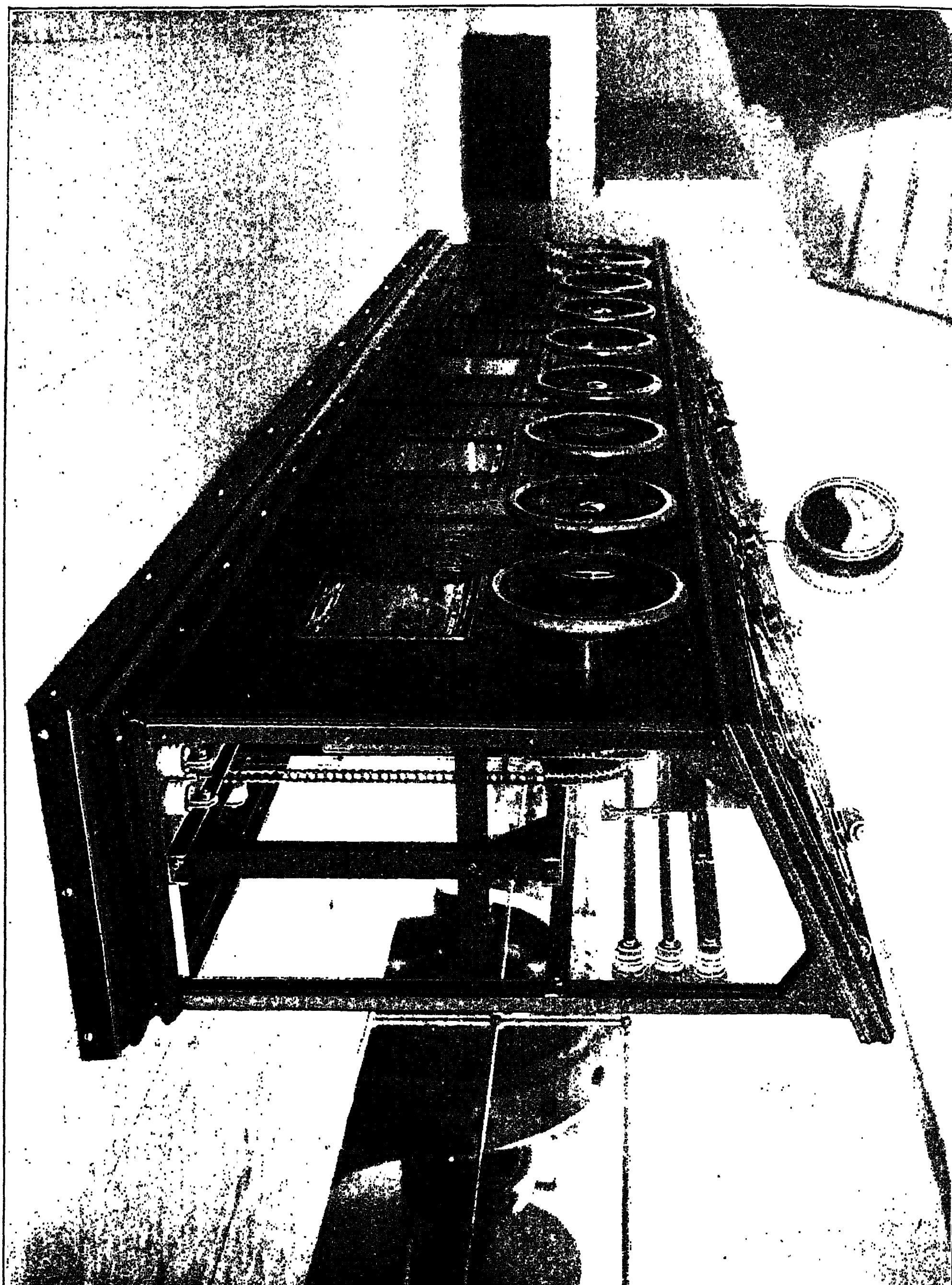


Fig. 100.

Hochvoltseite. Der aus Gusseisen bestehenden Schalttafel (Fig. 100) ist eine pultförmige Gestalt gegeben. Die Tafel enthält freistehend ein Sammelschienenvoltmeter, dann an Messinstrumenten, welche in die Platte eingelassen

sind, für jeden der drei Generatoren ein Amperemeter, ein Voltmeter, ein Phasenmeter und ein Erregeramperemeter, ferner noch je zwei Phasenlampen und die kleinen Hilfsschalter. An der Vorderseite der Schalttafel befinden sich die Handräder mit Kettenübertragung zur Betätigung der Regulierwiderstände und der Hauptschalter für 40000 Volt, und darunter hinter Glas die Zeitrelais für die automatische Auslösung der Hauptschalter bei Stromüberlastung. Das erste Feld enthält Nebenschlussregulator, Amperemeter und Voltmeter für die beiden Erregerdynamos, von denen eine zur Reserve steht. Von hier aus wird auch der Strom für die Hilfsspule zur automatischen Auslösung der Schalter genommen. Das zweite Feld besitzt drei Amperemeter zur Anzeige des durch die Freileitung abgehenden Stromes, ein Handrad zur Einschaltung des Hauptschalters für die Freileitung und ein Zeitrelais zur automatischen Auslösung dieses Schalters sowie eines kleinen Hilfsschalters zur Auslösung. Die drei anderen Felder sind für die schon aufgezählten Apparate und Instrumente der Generatoren bestimmt.

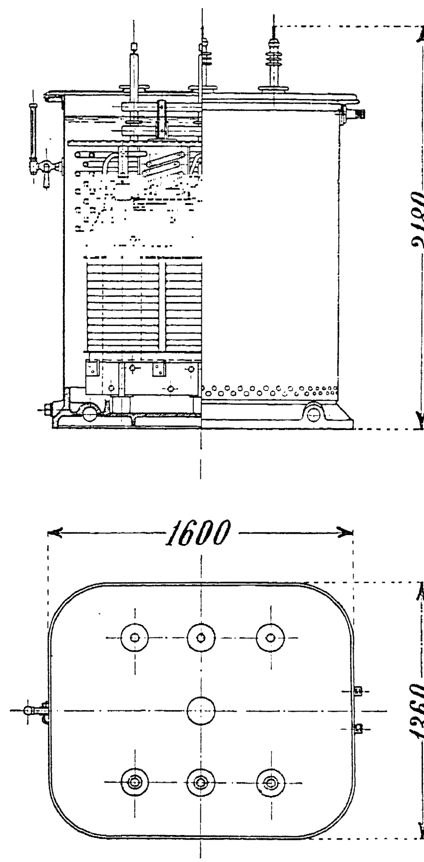


Fig. 101.

Die drei Transformatoren von je 850 KW stehen in einem Ölkasten und sind mit Wasserkühlung mit einem Wasserverbrauch von 18 l pro Minute versehen (Fig. 101).

Die Hochspannungsölschalter mit automatischer Auslösung haben für jede Phase einen getrennten Ölkasten, ausserdem ist noch jede Phase in getrennten Kammern mit feuerfesten Wänden (Fig. 102) untergebracht. Die Konstruktion der die Leitungen mit 40000 Volt tragenden Isolatoren zeigt Fig. 103.

Schliesslich lässt Fig. 104 noch den Blitzableiter erkennen, welcher aus in die Leitung eingebauten Drosselspulen besteht, von denen Funkenstrecken zur Erde abgezweigt sind, wie aus dem Schaltungsschema Fig. 98 zu ersehen ist.

Alle Metallteile, welche der Berührung ausgesetzt sind, wie Schalttafelgestelle, Handgriffe für Schalter, Schutzgeländer, Gehäuse der Maschinen u. s. w., sollen so geerdet sein, dass Personen durch eine Berührung derselben auch dann nicht gefährdet sind, wenn infolge irgend eines Isolationsdefektes diese Metallteile in direkten Kontakt mit der Hochspannungsleitung geraten. Da eine Gefahr für Menschen nur dann besteht, wenn zwei verschiedene Stellen des Körpers, sei es Kopf und Hand oder Fuss, oder beide Hände, oder Hände und Füsse, einer Potentialdifferenz ausgesetzt werden, so ist dafür Sorge zu tragen, dass alle der Berührung zugänglichen Teile einschliesslich des Fussbodens gleiches Potential, und zwar zweckmässig Erdpotential be- **90.** Erdung.

halten, was durch Erden und metallische Verbindung aller der Berührung zugänglichen Teile einschliesslich der Eisenteile des Gebäudes meistens schon in hinreichend vollkommener Weise erreicht wird. In zweifelhaften Fällen wird der Erdboden noch durch Einlegen eines geerdeten, weitmaschigen Metallgeflechtes in den Fussboden besonders geerdet.

Im übrigen wird die Sicherheit des Personals dadurch erhöht, dass einmal alle blanken, stromführenden Leitungen der zufälligen Berührung entweder durch Anbringen in hinreichender Höhe oder durch Schutzgitter u. s. w.

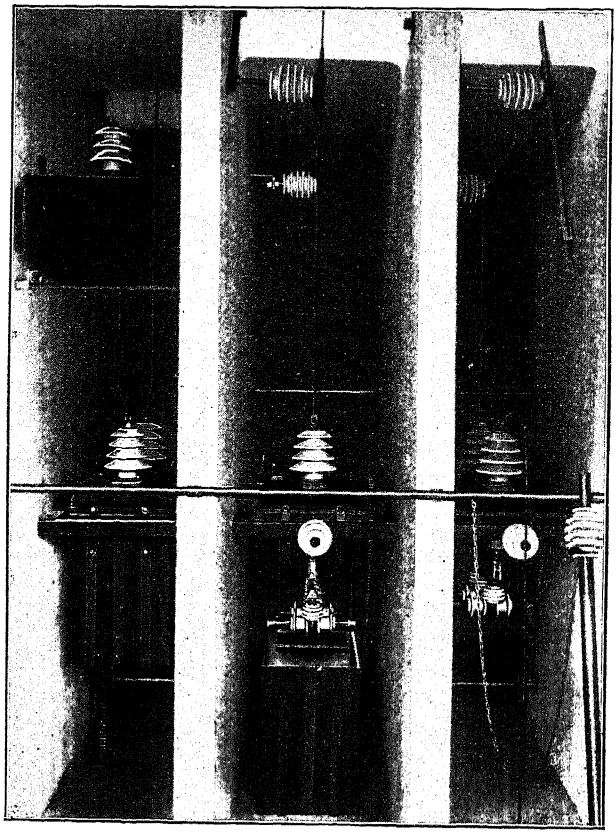


Fig. 102.

entzogen werden und andererseits dadurch, dass alle Räume, welche solche Leitungen enthalten, dauernd verschlossen gehalten werden und nur zuverlässigem, instruiertem Personal zugänglich sind.[1])

91. Sicherheitsapparate. Von den früher ausschliesslich gebräuchlichen Schmelzsicherungen in Hochspannungsanlagen kommt man für höhere Stromstärken mehr und mehr zurück und ersetzt dieselben durch automatische Ölausschalter, die sich sehr gut bewährt haben, sofern dieselben einer regelmässigen, gewissenhaften Kontrolle durch eingehende Besichtigung aller Teile unterworfen werden. Damit diese automatischen Apparate nicht sofort beim geringsten Anlass in

1) Vgl. Sicherheitsvorschriften für den Betrieb elektrischer Starkstromanlagen.

Funktion treten, sondern den nachgeordneten Sicherheitsschaltern Zeit gelassen wird, zu wirken, werden die automatischen Hauptschalter mit einem Zeitrelais versehen. Die Relais erhalten ihren Antrieb von in die Hauptleitungen eingeschalteten Stromwandlern und wirken entweder bei Über-

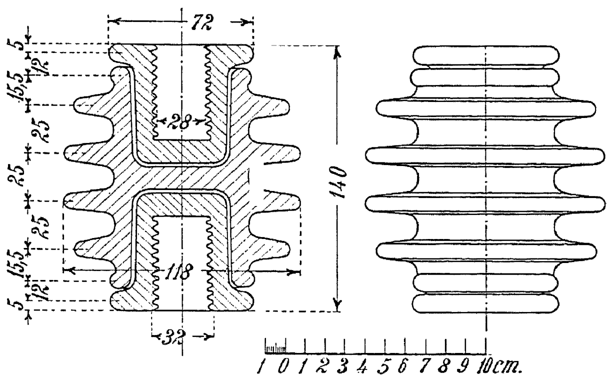


Fig. 103.

schreitung einer bestimmten Stromstärke direkt auslösend auf den Schalter ein, oder unter Vermittelung eines Hilfsstromkreises mit einem Hilfsmagneten, der dann zweckmässig vom Erregerstrom gespeist wird, da unter Umständen

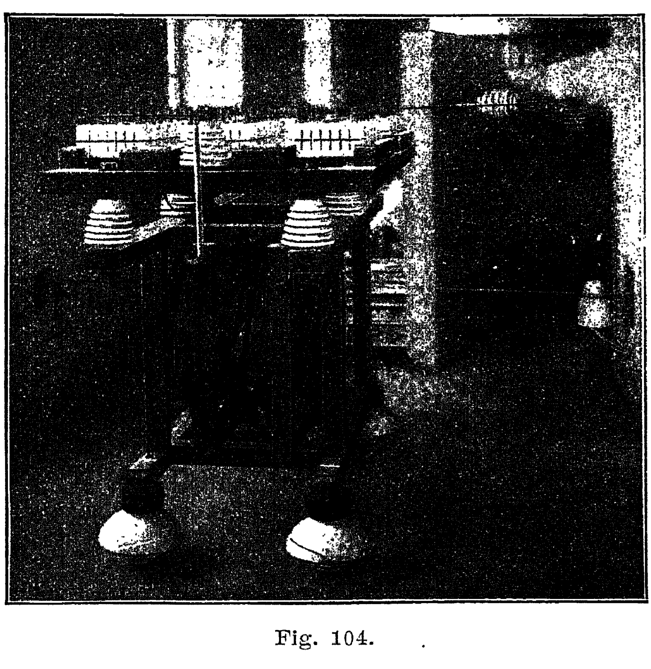


Fig. 104.

die Wechselstromspannung durch die Wirkung eines etwaigen Kurzschlusses hierzu nicht mehr fähig ist.

Der Platz für die Sicherheitsschalter ist unmittelbar hinter den Sammelschienen. Es muss bei der Disposition der Anlage stets so verfahren werden, dass jedes einzelne Glied der Leitungsanlage zur gefahrlosen Revision, Er-

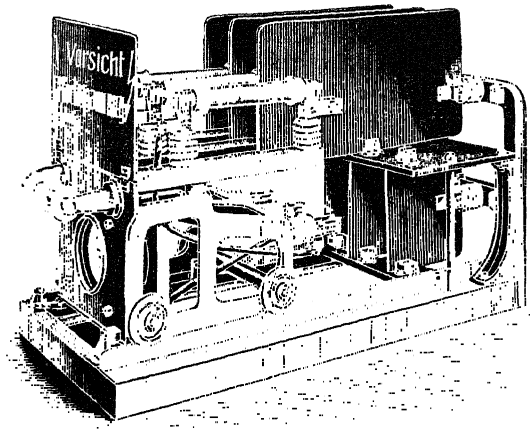


Fig. 105.

neuerung oder Reparatur abtrennbar gemacht werden kann, wozu die Trennschalter dienen. Der dann mit den Sammelschienen noch in Verbindung verbleibende Rest an stromführenden Teilen soll so sicher montiert sein, dass Störungen überhaupt nicht daran vorkommen können. Natürlich müssen die Angriffspunkte für die Betätigung solcher Trennschalter ebenfalls so ausgebildet werden, dass eine gefahrlose Bedienung möglich ist. Die beste Art der Ausführung ist stets die zwangläufige Bewegung. Weniger empfehlenswert ist das Hantieren mit Isolierzangen und einzelnen losen Verbindungsteilen, wie dieses für die Erneuerung der Schmelzsicherungen sehr verbreitet ist. Fig. 105 zeigt eine auf einem kleinen Kontaktwagen montierte Hochspannungs-Schmelzsicherung der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft. Soll der Schmelzeinsatz erneuert werden, so wird der Wagen aus seinen Kontakten gezogen und ist damit jede Verbindung mit der Hochspannung unterbrochen. Nach erfolgter Auswechselung wird durch einfaches Einrücken des Wagens der Stromkreis wieder geschlossen.

Dasselbe Prinzip ist von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft auch für ganze Teile einer Schalttafel zur Anwendung gebracht (Fig. 106), indem der komplette, zu einem Generator gehörende Satz an Apparaten und Instrumenten auf einem Kontaktwagen montiert ist, wodurch natürlich eine absolut gefahrlose Revision und Reparatur ermöglicht wird.

92. Regulatoren. Die von Hand bewegten Regulierwiderstände unterscheiden sich von denen für Gleichstromanlagen gar nicht, sofern sie in den Nebenschlussstromkreis der Erregerdynamos eingeschaltet werden. Da jedoch nicht immer jeder Generator seinen eigenen Erreger erhält, auch eine gewisse Trägheit

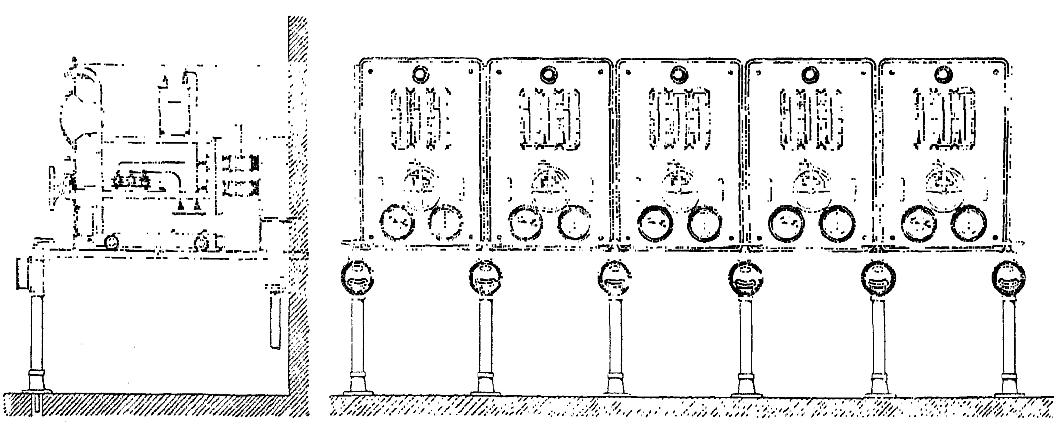


Fig. 106.

der Regulierwirkung vorhanden ist, wenn nur der Magnetstromkreis des Erregers behufs der Spannungsregulierung beeinflusst wird, so empfiehlt es sich, direkt in den Magnetstromkreis des Generators einen Regulierwiderstand einzuschalten. Derselbe fällt dadurch allerdings wesentlich grösser und teurer aus, auch ist die in Wärme umgesetzte Energie in diesem Falle höher.

Die automatisch betätigten Spannungsregulatoren unterscheiden sich von denen für Gleichstrom lediglich dadurch, dass das zugehörige Messinstrument für Wechselstrom eingerichtet sein muss. Eventuell wird auch das Kraftwerk zur Verschiebung der Kurbel des Regulierwiderstandes durch Wechselstrom angetrieben.

In jüngster Zeit ist eine auf wesentlich anderen Prinzipien beruhende Neuerung in automatischen Spannungsregulatoren für Alternatoren aus Amerika zu uns herübergekommen, die gegenüber den bisher gebräuchlichen Anordnungen sich durch sehr geringe bewegte Massen auszeichnet und daher ein äusserst exaktes und schnelles Regulieren innerhalb weiter Grenzen gewährleistet. Es ist dieses der automatische Spannungsregulator, System Tirrill, der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, welcher nur in Verbindung mit einer besonderen Erregerdynamo zur Verwendung kommt.

Die Regulierung erfolgt nicht, wie sonst üblich, durch Verschiebung der Kontaktkurbel des Regulierwiderstandes, obgleich ein solcher im Magnetstromkreis des Generators für die Zeit des Parallelschaltens nicht entbehrlich wird, sondern dadurch, dass ein kleiner, schnell schwingender Hebel einen Widerstand im Nebenschlussstromkreis des Erregers bei jeder Schwingung in verschieden langer Zeitdauer kurzschliesst. Je grösser die Kurzschlussdauer ist, um so grösser ist auch der Mittelwert des Nebenschlussstromes und um so höher ergiebt sich die Klemmenspannung der Erregermaschine und damit des Generators. Während des Arbeitens des Tirrill-Regulators bleibt der Magnetregulator des Generators unverändert stehen. Da die Regulierung durch Veränderung der Spannung der Erregerdynamo erfolgt, so schliesst dieser Regulator die Parallelschaltung einer Erregerbatterie sowie die Speisung der Stationsbeleuchtung vom Erreger aus.

Der Zweck und das Zusammenwirken der einzelnen Teile des Regulators sind an Hand des Schaltungsschemas Fig. 107 zu ersehen. Parallel zu dem Nebenschlussregulator der Erregermaschine liegt der Relaiskontakt *r s*. Durch eine am Hebel *p* angreifende Feder wird dieser Kontakt geschlossen, durch die Anziehungskraft des Gleichstrommagneten *a* (Relais) dagegen geöffnet. Letzterer ist mit zwei Wicklungen *m* und *n* versehen, die Strom von den Erregerklemmen empfangen und einander in ihrer Wirkung aufheben; der Kern *a* ist daher unmagnetisch, wenn die Spule *n* durch den Hauptkontakt *d e* geschlossen ist. Der Hauptkontakt besitzt veränderliche Höhenlage, da die Kontaktplättchen *d* und *e* an den Enden zweier Hebel *f* und *g* befestigt sind. Am anderen Ende des Hebels *f* hängt ein Eisenkern *b* (Gleichstrommagnet), der entgegen der Wirkung einer Feder um so tiefer in eine mit den Erregerklemmen verbundene Spule hineingezogen wird, je höher die Erregerspannung ist; bei jedem Wert der Klemmenspannung der Erregermaschine nimmt das Kontaktstück *d* also eine bestimmte Höhenlage ein. Der Hebel *g* andererseits, auf dessen freies Ende der Wechselstrommagnet *c* wirkt, befindet sich in jeder Stellung im Gleichgewicht, sobald die Summe der Amperewindungen der beiden Magnetspulen *c* einen

bestimmten mittleren Wert hat; ist sie zu klein, so hebt der Hebel *g* unter der Einwirkung des Gewichtes des Kerns *c* das Kontaktstück *e*; ist sie zu gross, so wird *e* gesenkt, weil die nach oben gerichtete Wirkung der Wechselstromspulen auf Kern *c* dessen Gewicht überwindet. Kern *c* wird teilweise durch ein Gegengewicht ausbalanciert; seine Bewegungen werden durch eine Ölbremse gedämpft. Die beiden Wechselstromspulen sind durch Spannungs- und Stromwandler mit den Sammelschienen verbunden.

Der Kontakt *r s* wird geschlossen, wenn der Kontakt *d e* geschlossen wird, und geöffnet, wenn *d e* geöffnet wird. Durch *r s* wird der Nebenschlusswiderstand der Erregermaschine kurz geschlossen.

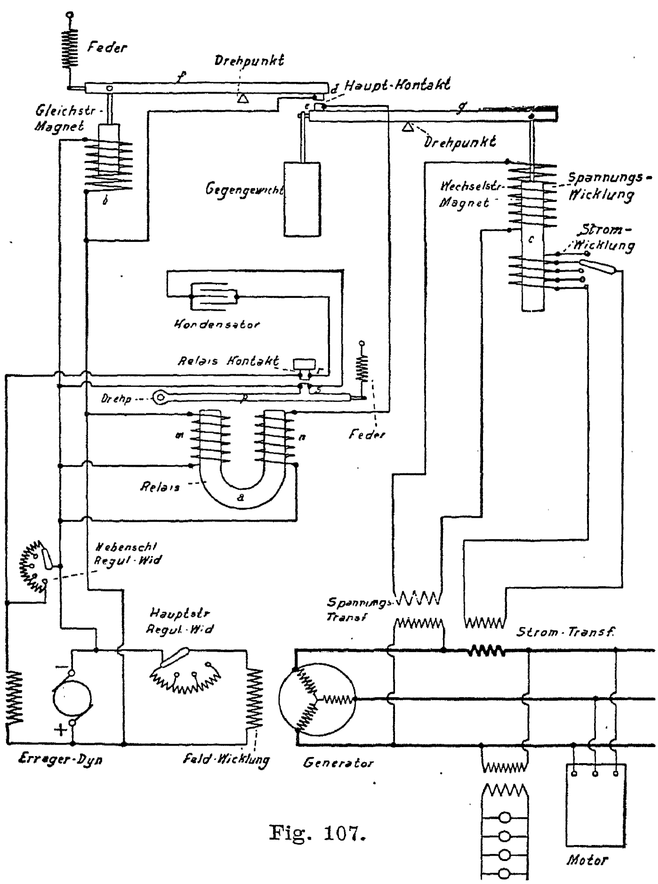


Fig. 107.

Es werde für einen bestimmten Fall der Hebel *g* freigegeben und die Spannungsspule des Wechselstrommagneten durch den Spannungswandler mit den Sammelschienen verbunden. Die Amperewindungszahl des Wechselstrommagneten ist proportional der Generatorspannung. Hat diese den Wert, der die richtige Amperewindungszahl des Wechselstrommagneten ergiebt, so bleibt der Hebel *g* und das Kontaktstück *e* in Ruhe; ist sie dagegen beispielsweise zu hoch, so bewegt der Hebel *g* das Kontaktstück *e* nach unten; dadurch fällt die Erregerspannung, bis die Generatorspannung auf den richtigen Wert gesunken und der Hebel *g* wieder im Gleichgewicht ist. Tritt weiter eine Belastungssteigerung oder Verminderung der Tourenzahl ein, so dass die Generatorspannung zu sinken beginnt, so wird die Kontaktstelle *d e* sofort durch den Hebel *g* gehoben; die Erregerspannung steigt infolgedessen, bis wieder Gleichgewicht bei der normalen Generatorspannung erreicht ist. Die Spannungsspule des Wechselstrommagneten stellt also im Verein mit dem Gleichstrommagneten *b* stets eine konstante Generatorspannung ein. Wird auch die Stromspule des Wechselstrommagneten angeschlossen, so sinkt seine totale Amperewindungszahl, da erstere der Spannungsspule entgegenwirkt; ihre Amperewindungszahl beträgt bei Vollbelastung des Stromwandlers 10—15 % der Amperewindungszahl der Spannungsspule. Unter sonst konstanten Verhältnissen wird daher das

Kontaktstück *e* gehoben, so dass die Erreger- und Generatorspannung steigt, bis durch die erhöhte Wirkung der Spannungsspule die Gegenwirkung der Stromspule aufgehoben ist. Die Generatorspannung ist dann um einen der Belastung proportionalen Betrag grösser als bei Leerlauf. Strom- und Spannungsspule des Wechselstrommagneten stellen also im Verein mit dem Gleichstrommagneten *b* eine mit der Belastung gleichmässig steigende Generatorspannung ein. Die Grösse der Spannungssteigerung bei einer bestimmten Belastung kann mittels Ab- und Zuschalten von Windungen der Stromspule durch Verstellen zweier kleinen Kurbeln geändert werden.

Der zu den Relaiskontakten parallel liegende Kondensator verhindert das Auftreten schädlicher Funken an denselben; die Funken an der Kontaktstelle *de* sind auch ohne einen Kondensator kaum sichtbar.

Um die ungleichmässige Abnutzung der Kontaktstellen zu verhindern, wird nach je 24 Stunden die Stromrichtung in ihnen durch Umlegung zweier kleinen Umschalter umgekehrt.

Die äussere Ausführung des Regulators ist aus Fig. 108 zu ersehen.

Strom- und Spannungswandler werden beliebig in der Nähe der Sammelschienen montiert. Der Spannungswandler kann statt an die Sammelschienen auch an irgend welche Prüfdrähte angeschlossen werden, die mit einem Speisepunkt oder einer Unterstation verbunden sind, so dass dort die Spannung ohne Benutzung des Stromwandlers konstant gehalten wird.

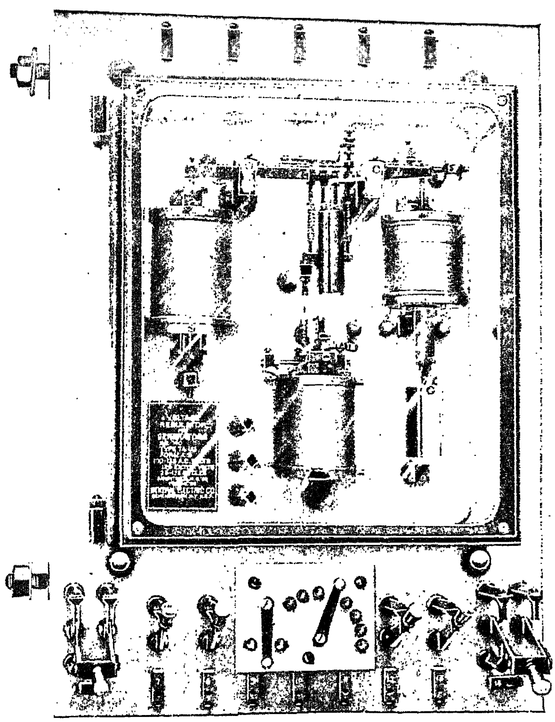


Fig. 108.

93. Messapparate.

In allen Wechselstrom-Anlagen ist es gebräuchlich und dringend zu empfehlen, die auf der Schalttafel befindlichen Instrumente mit Niederspannung zu betätigen, wozu die Stromwandler und Messtransformatoren ein äusserst bequemes Mittel geben. Das gleiche gilt auch für die in Hochspannungsstromkreisen einzufügenden Elektrizitätszähler. Da der Stromverbrauch des Messinstrumentes für den zugehörigen Hilfstransformator eine nennenswerte Belastung darstellt, der Energiebedarf der Instrumente ausserdem nicht absolut gleichwertig ausfällt, so wird jedes Instrument mit seinem zugehörigen Transformator geeicht und darf eine spätere Verwechselung nicht eintreten. Ebenso ist der Widerstand der Zuleitung bezw. die Länge derselben vielfach mit abgeglichen und auf den Skalenwert von Einfluss.

Die Bedingung, die Instrumente vor der Beeinflussung benachbarter Stromleitungen zu schützen, hat bei Wechselstromanlagen weniger Bedeutung, da einmal wegen der Verwendung höherer Spannungen nicht so erhebliche

Stromstärken auftreten, wie in Gleichstromanlagen, und man andererseits bei Wechselstromanlagen gewohnt ist, aus sicherheitstechnischen Gründen die Hauptleitungen mit grösseren Abständen voneinander zu führen.

Die Amperemeter, Voltmeter und Wattmeter bieten, abgesehen von ihren konstruktiven Details, deren Besprechung einem anderen Bande vorbehalten ist, keine bemerkenswerten Merkmale, dagegen mögen Phasenmeter, Erdschlussanzeiger und Synchronismusanzeiger noch kurze Erwähnung finden. Die Phasenmeter (Fig. 109) zeigen die Grösse der wattlosen Komponente des Stromes in Ampere an, und zwar ergiebt der voreilende Strom einen Ausschlag nach der einen Seite und der nacheilende Strom nach der anderen Seite. Würde die Grösse des wattlosen Stromes bei jedem Generator oder Synchromotor und Konverter lediglich vom Leistungsfaktor des Netzes abhängig sein, so wäre ein Phasenmeter von sehr untergeordneter Bedeutung. Dieses ist jedoch nur der Fall, wenn alle parallel arbeitenden Maschinen in ihrer Erregung gleiche Verhältnisse aufweisen. Jede Ungleichheit wird durch das Auftreten eines entsprechenden wattlosen Ausgleichsstromes wieder kompensiert, der die Maschine und Verbindungsleitung in unnötiger Weise erwärmt. Es ist also von Vorteil, ein Anzeigeinstrument hierfür zu haben. Das Ausprobieren der richtigen Erregerverhältnisse durch Vor- und Zurückschieben des Regulierwiderstandes, bis das Amperemeter auf das Minimum an Strom gebracht ist, ist zeitraubend und unsicher und daher weniger empfehlenswert.

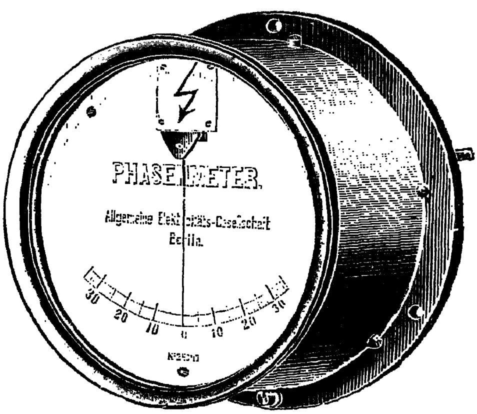


Fig. 109.

Eine dauernde Kontrolle über den Isolationszustand der gesamten Anlage, namentlich in Hochspannungsanlagen, ist von ausserordentlicher Bedeutung. Dieselbe wird in sehr einfacher Weise dadurch ermöglicht, dass zwischen jeden Leiter und den neutralen Punkt des Stromsystems, welcher für diesen Zweck nicht geerdet sein darf, ein statisches Voltmeter geschaltet wird und die Erdung erst an der neutralen Klemme des Voltmeters erfolgt. Bei einphasigem Wechselstrom sind also zwischen beide Leitungen zwei Voltmeter in Serie zu schalten und die Verbindungsklemmen zu erden, während das Drehstromsystem drei statische Voltmeter erfordert. Jedes Auftreten eines Isolationsdefektes einer Leitung macht sich durch entsprechende Verschiebung der Voltmeterangaben bemerkbar.

Ein recht brauchbares Instrument für das Parallelschalten von Maschinen ist der Geschwindigkeitsvergleicher für parallel zu schaltende Drehstrommaschinen (Fig. 110), welcher durch verschiedene Drehrichtung eines Zeigers oder eines Lichtreflexes angiebt, ob die neu zuzuschaltende Maschine zu schnell oder zu langsam läuft, was die Phasenlampen und der Phasenindikator nicht zu erkennen gestatten.

Sehr gute Dienste leisten im Centralstationsbetrieb registrierende Spannungsmesser, um eine nachträgliche Kontrolle der Betriebsführung zu ermöglichen, die namentlich bei Reklamationen von Konsumenten sehr erwünscht ist.

Auf einem am Voltmeterzeiger vorbeibewegten Papierstreifen wird die jeweilige Stellung des Zeigers vermerkt. Dieses geschieht zweckmässig dadurch, dass der Instrumentzeiger mit einer Schreibfeder ausgerüstet wird, welche einen ununterbrochenen Linienzug herstellt. Es ist darauf zu achten, dass die Reibung der Schreibfeder auf dem Papierstreifen die richtige Einstellung des Voltmeterzeigers nicht merklich beeinflusst. Ferner ist die Geschwindigkeit, mit der der Papierstreifen an der Schreibfeder vorbeigeführt wird, insofern von Wichtigkeit, als die Geschwindigkeit um so grösser sein muss, je grösser die Spannungsschwankungen sind, da sonst die von

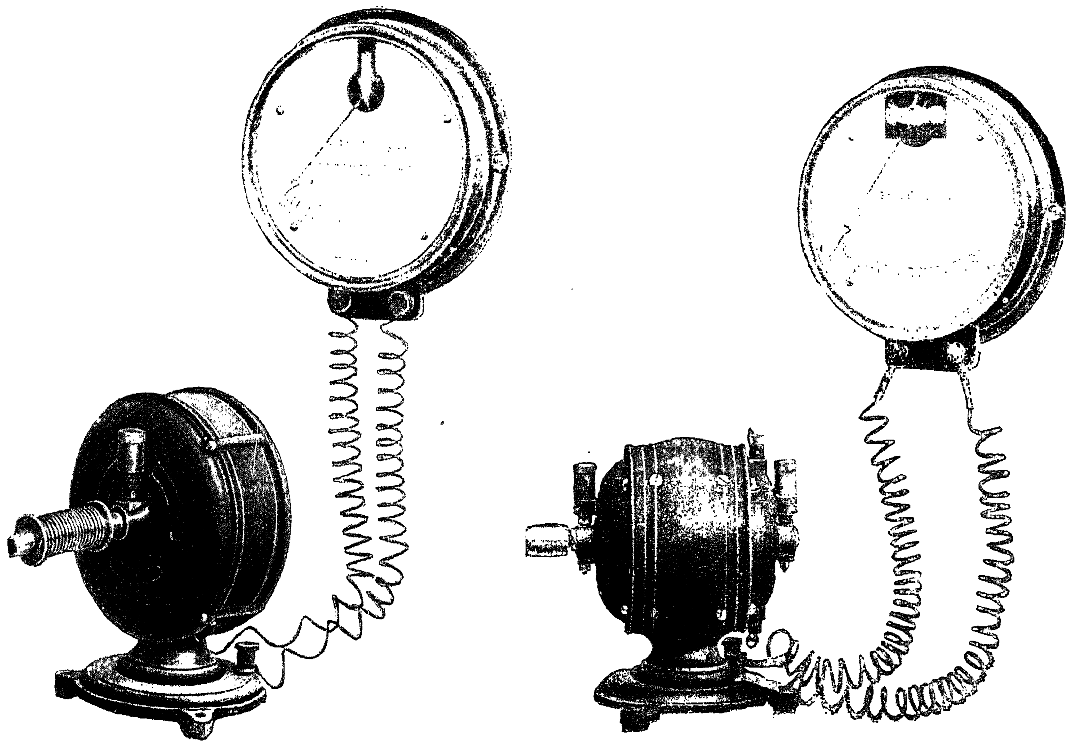


Fig. 110.

der Schreibfeder am Zeiger aufgezeichneten Striche zu einem breiten Rande zusammenlaufen. Die gebräuchliche Papiergeschwindigkeit beträgt 20 bis 50 mm pro Stunde, wobei brauchbare Kurven erzielt werden.

c) Unterstationen.

Den Unterstationen fällt die Aufgabe zu, die Verteilung des in einer 94.
Primärcentrale erzeugten Stromes in rationeller Weise zu bewirken, was Allgemeines.
meistens mit einer Umformung des empfangenen Stromes verbunden ist, sei es von Wechselstrom in Gleichstrom oder von Gleichstrom höherer Spannung in solchen niederer Spannung. Die Hauptbestandteile einer Unterstation sind demnach die Vorrichtungen für die Stromumwandlung und sodann die Ein-

richtung für die Stromverteilung, welch letztere sich jedoch von derjenigen einer Stromerzeugeranlage ohne Unterstationen in nichts unterscheidet und daher hier keiner nochmaligen Besprechung bedarf.

Da bei Anlagen, bei denen Wechselstrom zur Verteilung gelangt, eine Stromumwandlung unter Aufwendung sehr geringen auf der Strasse oder bei den Konsumenten verfügbaren Raumes und ohne Bedienung möglich ist, und ausserdem das Leitungsnetz teurer werden würde, wenn die Stromverteilung an die Konsumenten von einem einzigen oder wenigen centralisierten Punkten aus erfolgen würde, so kommen eigentliche Unterstationen für eine Verteilung von Wechselstrom gar nicht in Betracht, dieselben beschränken sich vielmehr lediglich auf Gleichstromverteilungsanlagen.

Man kann die Unterstationen nach den verschiedenen Arten der Umformung einteilen in Gleichstrom-Gleichstrom-Umformerstationen und Wechselstrom-Gleichstrom-Umformerstationen. Die ersteren können entweder reine Akkumulatoren-Unterstationen sein oder solche mit von der Primärcentrale betriebenen Motoren, die ihrerseits Generatoren antreiben oder nur zum Zweck der Spannungsteilung in Serie geschaltet sind. In den beiden letzteren Fällen können noch parallel zum Netz Akkumulatoren geschaltet sein.

Die Wechselstrom-Gleichstrom-Umformerstationen erhalten als Mittel zur Stromumformung entweder Motorgeneratoren oder Konverter, in beiden Fällen mit oder ohne Hinzufügung von Akkumulatoren.

Die reinen Akkumulatoren-Unterstationen sind nur in denjenigen Fällen am Platze, wo es sich um relativ geringen, kurze Zeit dauernden Energiebedarf handelt, damit die Stromstärke während der Ladeperiode einen kleinen Wert behalten kann; denn von der Stromstärke hängt der Leitungsquerschnitt und damit die Kosten der Ladeleitung ab. Die letzteren lassen sich bei einer einzigen Unterstation und einer Batterie überhaupt nur um so viel gegenüber einer direkten Verteilung von der Primärcentrale reduzieren, als die Leitungen ohne Rücksicht auf den Spannungsverlust bis zur maximal zulässigen Querschnittsbelastung mehr beansprucht werden können, wobei der Transformationsverlust in den Akkumulatoren wiederum als negatives Glied in die Rechnung einzufügen ist. Die Aufstellung mehrerer Batterien in derselben Unterstation, damit durch Ladung derselben in Serie und Entladung in Parallelschaltung eine Energieübertragung mit nennenswert höherer Spannung bewirkt werden kann, hat seine Nachteile einmal in dem höheren Anschaffungspreis und Bedienungskosten sowie grösseren Raumbedarf, welchen mehrere kleine Batterien im Vergleich zu einer grossen aufweisen, und sodann in der unvermeidlichen ungleichen Beanspruchung der parallel arbeitenden Batterien, was einen vorzeitigen Verfall der Elemente zur Folge hat. Die letzteren Gesichtspunkte sprechen auch im allgemeinen gegen die gemeinsame Ladung der Batterien mehrerer Unterstationen in Serie, denn das Strombedürfnis in verschiedenen Teilen der Stadt weist stets Unterschiede auf, welche einer gemeinsamen Ladung nicht günstig sind.

Grössere Energiemengen mit langer Benutzungsdauer aus reinen Akkumulatoren-Unterstationen zu decken, verbietet sich auch ausserdem aus wirtschaftlichen Gründen wegen des in den Akkumulatoren auftretenden erheblichen Energieverlustes.

Nicht viel günstiger gestalten sich die Verhältnisse, wenn Motorgeneratoren, welche durch hochgespannten Gleichstrom betrieben werden, zur Aufstellung gelangen. Da die Kommutatoren sich für die Anwendung höherer

Spannung wenig eignen, so lassen sich wirtschaftlich vorteilhafte Spannungen bei Energieübertragung auf grössere Entfernungen überhaupt nur bei Serienschaltung mehrerer Gleichstrom-Motoren anwenden. Hierdurch werden aber ebenfalls Anschaffungspreis und Bedienungskosten erhöht und der Gesamtwirkungsgrad gegenüber einem einzigen grossen Maschinenaggregat erniedrigt, weshalb die Gleichstrom-Gleichstrom-Umformerstationen, da auch die nur zum Zweck der Spannungsteilung ausgeführte Serienschaltung von Motoren kein besseres Resultat bietet, lediglich in besonderen Ausnahmefällen in Frage kommen. Allen Serienstromkreisen fehlt die freie Beweglichkeit der einzelnen Glieder, was sich stets als ein Hemmschuh für die ungehinderte Entfaltung der Stationen ergeben wird.

Ganz unvergleichlich günstiger in jeder Beziehung gestaltet sich die Wechselstrom-Gleichstrom-Umformung, da der Wechselstrom nicht nur mit jeder gewünschten Spannung ohne Schwierigkeiten angewendet werden kann, also die Leitungskosten der Energieübertragung in gewünschten Grenzen gehalten werden können, sondern es ist auch die Umformung von Wechselstrom in Gleichstrom mit relativ geringen Verlusten möglich. Man findet daher auch bei allen modernen Werken von Bedeutung, welche Unterstationen errichtet haben, lediglich die Wechselstrom-Gleichstrom-Umformung zur Anwendung gebracht.

Die Lage der Unterstation soll möglichst im Konsumschwerpunkt sein, **95.**
was leicht ausführbar sein wird, da für diese Zwecke Hinterland vollständig Disposition.
ausreicht. An der Strassenfront selbst ist lediglich hinreichender Platz zur Ausführung der Leitungen erforderlich, wozu bei Verwendung von Kabeln Kellerräumlichkeiten in Anspruch genommen werden. Da es sich stets empfiehlt, aus Sicherheitsrücksichten parallel zum Netz eine Akkumulatorenbatterie zu schalten, diese jedoch ziemlich viel Platz benötigt, so muss bei geringer zur Verfügung stehender Grundfläche eine Aufstellung der Batterie in mehreren Stockwerken vorgenommen werden. Die Umformer ordne man möglichst nur auf solidem Fundament im Erdgeschoss an, wenngleich eine Aufstellung derselben in den Stockwerken technisch wohl durchführbar ist, nur hat man dann mit intensiveren Geräuschübertragungen auf die Nachbarschaft zu rechnen.

Die Schalttafel erhält einen solchen Platz, dass von ihr aus eine Übersicht über den Umformerbetrieb möglich ist, und dass die Verbindungsleitungen einschliesslich der Zellenschalterleitungen möglichst kurz und übersichtlich gelegt werden können. Auch soll die Schalttafel den übrigen Betriebsmitteln entsprechend erweiterungsfähig sein.

Da Wechselstrom sowohl als auch Gleichstrom vorhanden ist, so kann man entweder an einer Schalttafel die Messung und Schaltung des Wechselstromes für sämtliche Umformer vornehmen und an einer anderen Schalttafel sämtliche Gleichstromschaltungen ausführen, oder aber jeder Umformer erhält eine Schalttafel für Wechselstrom und unmittelbar daneben eine Schalttafel für die Gleichstromseite, so dass in diesem Falle stets eine Wechselstrom- und eine Gleichstromschalttafel miteinander abwechseln. Bei dieser Anordnung ist sowohl die Bedienung eine einfachere als auch die Vermeidung von Leitungskreuzungen leichter zu bewirken.

Da hochgespannter Drehstrom eingeführt und niedrig gespannter Gleichstrom ausgeführt wird, so empfiehlt es sich, um eine zweckmässige Trennung beider Leitungen zu ermöglichen, die Räumlichkeiten für die verschiedenen

Arten der Betriebsmittel so aneinander anzuschliessen, dass Kreuzungen, namentlich von Hochspannung und Niederspannung führenden Teilen, vermieden werden.

Der Verlauf ist etwa folgender: An der einen Seite des Gebäudes treten die Hochspannungsleitungen in einen abschliessbaren Raum, den Hochspannungsraum, ein, woselbst der hochgespannte Strom nach Passieren von Sicherheitsschaltern den Hochspannungssammelschienen zugeführt wird. Von den Hochspannungssammelschienen führen Leitungen den Strom wieder durch im Hochspannungsraum untergebrachte Sicherheitsschalter nach den Transformatoren im abschliessbaren Transformatorenraum und von da nach den Wechselstromschalttafeln.

Von den Wechselstromschalttafeln wird der Strom durch Schalter und Messinstrumente den Motoren oder Konvertern zugeführt. Im Falle Hochspannungsmotore zur Anwendung kommen, erübrigen sich naturgemäss die Transformatoren. Von der Gleichstromseite der Umformer wird der Strom durch Schalter und Messinstrumente, welche sich auf der Gleichstromschalttafel befinden, den Gleichstromsammelschienen zugeführt. Im Falle Akkumulatoren zur Aufstellung gelangen, treten noch Ladesammelschienen hinzu, von denen der Strom über den Ladeschlitten des Zellenschalters in die Akkumulatorenbatterie gelangt. Von den Gleichstromsammelschienen entnehmen die Speisekabel, welche an Kabelschalttafeln vereinigt sind und wiederum einen besonderen Raum entgegengesetzt dem Hochspannungsraum beanspruchen, den Strom, um ihn dem Niederspannungsverteilungsnetz und damit den Konsumenten zuzuführen.

Wie aus diesen Ausführungen hervorgeht, ist jede Unterstation mit einem grossen Gewirr von Leitungen der verschiedensten Art behaftet, deren zweckmässige Führung und Auseinanderhaltung durchaus nicht einfach ist, und wird diese Aufgabe sehr erleichtert und vereinfacht durch Einführung des Fernschaltsystems.

Eine weitere, grosse Vorteile namentlich in sicherheitstechnischer Beziehung bietende Massnahme ergiebt die Abschliessung der einzelnen Hochspannung führenden Teile nach dem sogenannten Kammersystem (Fig. 49 u. 102), welches in Amerika eine grosse Verbreitung gefunden hat, und zur Nachahmung empfohlen werden kann.

96. Umformer. Zur Umformung des Wechselstromes in Gleichstrom hat man die Wahl zwischen Motorgeneratoren und Konvertern. Für die Motoren der Motorgeneratoren kommen entweder Synchron- oder Asynchronmotoren in Betracht, und zwar letztere direkt für die Hochspannung gewickelt oder für Niederspannung eingerichtet. Das Anlassen der Umformer kann von der Gleichstromseite aus oder von der Wechselstromseite geschehen. Da alle diese Punkte ihre Vorzüge und Nachteile besitzen und je nach den Betriebsverhältnissen das eine oder andere Verfahren am Platze ist, so soll im Nachstehenden eine kurze Besprechung erfolgen.

Zwischen Motorgeneratoren und Konvertern besteht zunächst ein nennenswerter Unterschied im Gesamtwirkungsgrad. Derselbe ist bei den Konvertern wesentlich günstiger, und zwar lassen sich hier die Verluste einschliesslich des zugehörigen Transformators im allgemeinen etwa auf die Hälfte derjenigen bei Motorgeneratoren bringen, selbst wenn für letztere kein besonderer Transformator nötig ist. Der Grund, weshalb trotzdem die Konverter nicht ausschliesslich für Unterstationen zur Anwendung gelangen, liegt lediglich in

der geringeren Betriebssicherheit der Konverter, welche bei unruhigem Betrieb, sei es primär- oder sekundärseitig, auf ein unzulässiges Mass herabgedrückt werden kann.

Der Konverter ist in seinen Grundzügen weiter nichts als ein Synchronmotor mit angefügtem Kommutator, bei welchem die Gleichstromspannung in fester Beziehung zur Wechselstromspannung steht. Grosse Tourenschwankungen der Primärmaschine, denen der Konverter nicht sofort folgen kann, da dem die Schwungmasse hindernd im Wege steht, und welche bei einem gewöhnlichen Synchronmotor ein Aussertrittfallen zur Folge haben würden, sowie nennenswerte Spannungsschwankungen rufen das Auftreten starker Funken am Kommutator hervor, welch letztere bei dem durch das System bedingten geringen Abstand der Bürsten beider Polaritäten voneinander leicht zu einer Vereinigung der Funken und damit zu Kurzschluss am Kommutator führen; die Bürsten auf dem Kommutator des Konverters lassen sich sonst äusserst leicht und sicher auf funkenfreien Gang einstellen. Je höher die Gleichstromspannung ist, um so länger werden die nur durch die plötzliche Änderung der Betriebsverhältnisse, seien es Tourenänderungen oder Spannungsschwankungen infolge Belastungsänderungen, bedingten Funken am Kommutator, und da der Bürstenabstand bei Konvertern mit zunehmender Periodenzahl für gleiche Grösse und Umfangsgeschwindigkeit des Kommutators immer geringer wird, so geben Höhe der Gleichstromspannung und der Periodenzahl die Grenzen für den Bau betriebssicherer Konverter und die Schwankungen im Betriebe die Grenze für die Anwendung derselben.

Muss aus betriebstechnischen Gründen von der Verwendung der Konverter Abstand genommen werden, so kommen Motorgeneratoren zur Aufstellung. Sofern die Grösse des Motors es irgend zulässt, wird derselbe zur Vermeidung der Kosten und Verluste durch die Transformatoren direkt für die hohe Spannung gewickelt. Synchronmotoren haben den Vorteil, dass durch die Erregung der Leistungsfaktor stets gleich 1 gemacht und dadurch eine unnötige Strombelastung der Kabel und Maschinen vermieden werden kann. Dieselben erfordern jedoch beim Einschalten mehr Zeit, da die Einschaltung erst nach Einregulierung auf Synchronismus erfolgen kann. Ferner wird die Energie zum Anfahren, sofern nicht besondere Einrichtungen mit Anlasstransformator getroffen sind, dem Gleichstromnetz entnommen, was beim Fehlen von Akkumulatoren unter Umständen Spannungsschwankungen bei den Konsumenten hervorrufen kann.

Asynchronmotoren haben den Vorteil, dass das Anfahren von der Wechselstromseite aus in äusserst einfacher Weise schnell und sicher zu bewirken ist, ein Umstand, der namentlich bei wenig intelligentem Personal und bei grosser Eile, wie bei plötzlich einsetzendem starken Stromkonsum oder nach stattgefundenen Störungen, nicht hoch genug veranschlagt werden kann. Das Anlaufen geschieht mit Hilfe eines Flüssigkeitswiderstandes, welcher an die Schleifringe des Rotors angelegt, die Wickelung des letzteren allmählich kurzschliesst. Damit die Bürsten nicht während der ganzen Betriebszeit auf den Schleifringen zu schleifen brauchen, wird der Rotor mit einer Vorrichtung versehen, welche ein direktes Kurzschliessen der Schleifringe nach Erreichung normaler Tourenzahl ermöglicht, wonach ein Abheben der Bürsten vorgenommen werden kann.

Die Spannungsregulierung bei Motorgeneratoren findet in einfachster Weise durch Nebenschlussregulatoren im Magnetspulenstromkreise der vom

Motor angetriebenen Dynamomaschine statt. Bei Konvertern ist diese einfache Methode der Spannungsregulierung nicht am Platze, denn die Gleichstromspannung hängt von der Grösse der zugeführten Wechselstromspannung ab und wie bei jedem Synchronmotor durch eine Änderung des Erregerstromes eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung herbeigeführt wird, so resultiert auch bei den Konvertern eine solche, falls der Schenkelmagnetismus geändert wird.

Es ergiebt sich zwar die Möglichkeit durch Herbeiführung einer Vor- oder Nacheilung des Wechselstromes die Gleichstromspannung in geringem Masse zu regulieren, da je nach dem Vorzeichen der Phasenverschiebung die Ankeramperewindungen eine Unterstützung oder Schwächung des magnetischen Feldes bewirken, doch ist eine derartige Methode wenig empfehlenswert, da durch den wattlosen Strom nicht nur die Wickelungen der primären

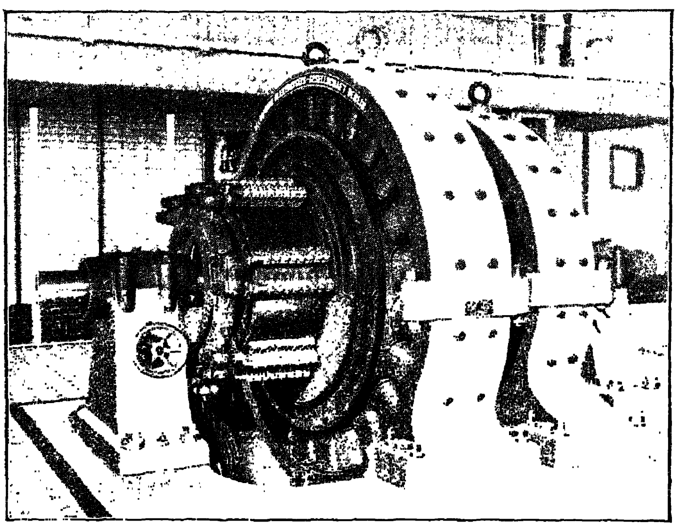


Fig. 111.

und sekundären Maschinen, sondern auch die Verbindungsleitungen in überflüssiger Weise geheizt werden.

Die zweckmässigste Art die Gleichstromspannung zu regulieren, erfolgt durch Änderung der zugeführten Wechselstromspannung. Da dieses naturgemäss nicht durch Änderung der Spannung an der Primärdynamo geschehen kann, so bleibt nur übrig, die gewünschte Spannungsänderung mit Hilfe eines Regulier-Zusatztransformators vorzunehmen.

Die praktischste Form eines solchen ist in Fig. 92 dargestellt, welche unter dem Namen Potentialregulatoren vorwiegend zur Spannungsregulierung bei Konvertern benutzt werden.

Eine andere Methode die Wechselstromspannung zu verändern ist von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft ausgearbeitet und hat in den Unterstationen der Berliner Elektrizitätswerke die weitestgehende Anwendung gefunden. Dieselbe besteht darin, dass auf der Welle des Konverters (Fig. 111 und 112) ein Hilfsanker mit einer Wechselstrom-Generatorwicklung, der in einem besonderen Magnetgehäuse rotiert, befestigt wird. Die Wickelung des

Gegen die weitgehende Verwendung von Sicherheitsschaltern wäre einzuwenden, dass dadurch die Stromversorgung der Konsumenten an der erforderlichen Störungsfreiheit einbüsst, weil die Apparate auch bei solchen Anlässen in Funktion treten, die zwar eine momentane abnorme Stromsteigerung verursachen, jedoch nach kurzer Zeit durch Abschmelzen der Störungsursache oder sonstwie von selbst wieder verschwinden.

Ein sehr brauchbares Hilfsmittel, hier Linderung zu verschaffen, besteht darin, die Zeitdauer, nach welcher die Sicherheitsapparate erst in Funktion treten sollen, in der Richtung der Stromabführung vermittelst Zeitrelais mehr und mehr abnehmen zu lassen.

Hochspannungsseitig müsste also der Sicherheitsschalter in der Primärcentrale am spätesten in Funktion treten und gleichstromseitig derjenige unmittelbar am Umformer. Da jedoch auch der gesamte Maschinenbetrieb gestört werden kann, in welchem Falle die Akkumulatoren die Stromlieferung zu übernehmen haben, so empfiehlt es sich, in die letzteren keine automatisch wirkenden Schalter einzubauen, sondern nur Notschalter, die im Falle der Not von Hand ausgelöst werden und befähigt sein müssen, auch abnormal hohen Strom sicher auszuschalten.

Zweite Abteilung.

Der Betrieb von Elektrizitätswerken.

Einleitung.

Dem Betriebsleiter fällt eine doppelte Aufgabe zu, nämlich einerseits dafür zu sorgen, dass sich die investierten Kapitalien in angemessener Weise dauernd gut verzinsen, und andererseits, dass dem Bedürfnis nach elektrischer Energie allseitig Rechnung getragen wird.

Dieses Ziel lässt sich am sichersten erreichen, wenn die berechtigten Wünsche der Konsumenten und derjenigen, die es werden wollen, in der weitestgehenden Weise Berücksichtigung finden; denn je mehr die Konsumenten die Überzeugung gewinnen, dass der Betriebsleiter ihre Interessen wahrnimmt und alle Wünsche in wohlwollende Erwägung zieht, um so schneller prosperiert das Werk, und um so mehr wird auch die akquisitorische Tätigkeit des Betriebsleiters von Erfolg gekrönt sein.

Durchaus unangebracht ist es, im geschäftlichen Verkehr mit den Konsumenten den Standpunkt einer Behörde einzunehmen. Auch die Lieferung von Elektrizität ist ein Geschäft und soll stets als ein solches behandelt werden. Aus diesem Grunde ist es erforderlich, dem Betriebsleiter eine gewisse Bewegungsfreiheit in seinen Massnahmen zu lassen, was durchaus nicht notwendigerweise das Recht zur vollkommen willkürlichen Preisbemessung einzuschliessen braucht.

Die Lösung der hier kurz skizzierten Aufgabe bedingt nicht nur die sachgemässe Instandhaltung der Betriebsmittel sowie deren Vermehrung entsprechend der Zunahme des Strombedarfes, sondern der Betrieb muss auch so überwacht und geleitet werden, dass die Unkosten möglichst gering ausfallen, damit die elektrische Energie zu niedrigeren Preisen abgegeben werden kann, als der einzelne Abnehmer dieselbe sich unter normalen Verhältnissen selbst zu erzeugen vermag.

Einkauf der Betriebsmaterialien zu angemessenen Preisen, sparsamer wie zweckmässiger Verbrauch derselben, richtige Bewertung und Verteilung der Arbeitskräfte, angemessene Normierung des Verkaufspreises der elektrischen Energie üben einen grossen Einfluss auf das geschäftliche Ergebnis des Elektrizitätswerkes aus. Ferner ist es von grosser Wichtigkeit, dass der Betriebsleiter gewandt im Verkehr sowohl mit seinem Personal, als auch mit den Konsumenten und Behörden ist.

Es ist demnach die Tätigkeit des Leiters eines Elektrizitätswerkes eine äusserst vielseitige, indem derselbe sowohl ein tüchtiger Kaufmann, als Ingenieur und Verwaltungsbeamter zugleich sein muss, andernfalls sich über kurz oder lang in dem einen oder anderen Teile des vielgestaltigen Betriebes eine Störung einstellen wird, und berechtigte Klagen nicht ausbleiben werden.

Je grösser das Unternehmen ist, um so mehr erfordert dasselbe einen weiten Blick und vielseitige Erfahrungen, und um so schwieriger ist es, die Leitung in einer Hand zu behalten. Man findet daher auch wohl bei allen Werken grösseren Umfanges die Bürde der Leitung des Unternehmens auf mehrere Schultern verteilt, indem das kaufmännische Gebiet einem Kaufmann und das technische Gebiet einem Ingenieur zur speziellen Fürsorge übertragen wird, welchen gegebenenfalls wiederum Spezialisten mit den nötigen ausführenden Organen zur Seite gestellt werden.

Die Hauptschwierigkeit, welche sich bei einer vielköpfigen Verwaltung ergiebt, besteht darin, ein richtiges Ineinandergreifen des gesamten Verwaltungsmechanismus zu bewirken, denn die einzelnen Teile desselben stehen in vielfacher Wechselbeziehung zu einander und können niemals scharf abgegrenzt werden. Hier wird zweckmässig entweder ein einziger die Oberleitung übernehmen und gegebenenfalls die Entscheidung da treffen, wo es not tut, oder die Einheitlichkeit der Verwaltung wird durch Verständigung in regelmässigen gemeinschaftlichen Sitzungen der einzelnen Glieder gewährleistet.

Im folgenden möge nun die Tätigkeit eines Betriebsleiters näher zergliedert werden, und eine Erörterung im einzelnen erfolgen, um ein gesamtes Bild von der umfassenden und verantwortungsvollen Aufgabe eines solchen zu gewinnen.

Fünfter Abschnitt.

Die Verwaltung des Elektrizitätswerkes.

Zur sachgemässen Leitung eines Elektrizitätswerkes muss sich die Tätigkeit aller Angestellten vom höchsten bis zum geringsten mit ihren verschiedensten Spezialkenntnissen und Fertigkeiten so aneinander gliedern, dass ein organisches Ganzes gebildet wird, dessen Streben auf die sachgemässe Führung, die Erhaltung und lebhafte Weiterentwickelung des Unternehmens gerichtet ist. 98. Gliederung

Die natürliche Abstufung der Angestellten erfolgt derartig, dass über den einzelnen, zu spezieller Tätigkeit bestimmten Gliedern wiederum höhere Beamte mit erweiterten Befugnissen stehen, welche die besonderen dienstlichen Anordnungen zu treffen haben, und denen die Verantwortung für die Handlungen ihrer Untergebenen zufällt. Die Anzahl der verschiedenen Kategorien von Angestellten, wie die Anzahl der Vertreter der letzteren, richtet sich naturgemäss nach dem Umfange des Unternehmens und wird so bemessen, dass die Leistungsfähigkeit des einzelnen nicht überschritten wird, bezw. dass die Arbeitskraft eines jeden möglichst voll in Anspruch genommen wird.

In der Hauptsache unterscheidet man zwei Gruppen von Angestellten, nämlich technisches und kaufmännisches Personal. Das technische Personal setzt sich zusammen aus den Arbeitern, welche das Werk lediglich durch ihrer Hände Arbeit zu fördern haben, und den technisch vorgebildeten Angestellten. Im allgemeinen stehen die Arbeiter in Stunden- oder Tagelohn und werden nur entsprechend der tatsächlich aufgewendeten Arbeitszeit entlohnt, während diejenigen Angestellten, welche eine Fachausbildung genossen haben, der Regel nach mit festem Monats- oder Vierteljahrsgehalt angestellt sind und zur Beamtenkategorie gehören.

Die Gruppe der Arbeiter überwiegt der Zahl nach stets; auch die Besoldung derselben macht einen grossen Prozentsatz der Gesamtausgaben aus, weshalb der Arbeiterfrage ein grosses Augenmerk zu schenken ist. Da ausserdem den Arbeitern nur schwer ein Interesse an dem Gedeihen des Unternehmens abzugewinnen ist, die relativ kurzen Kündigungsfristen denselben aber die Möglichkeit geben, jeden kleinen Anlass zu Ärger und Verdruss mit Aufgabe der Tätigkeit zu beantworten, was bei der fast überall bestehenden ausgezeichneten Organisation der Arbeiter unter Umständen sogar leicht zu einer allgemeinen Arbeitseinstellung führen kann, so ist auf das

peinlichste alles zu vermeiden, was irgendwie Differenzen mit den Arbeitern verursachen könnte. Namentlich ist der Dienst derselben bis ins kleinste Detail genau zu regeln, und eine besondere Inanspruchnahme der Arbeiter, wie sie bei Störungen zwar unvermeidlich ist, auf das unumgänglich notwendigste Mass zu beschränken; in solchen Fällen lasse man hierfür eine angemessene Entlohnung eintreten.

99. Arbeitsordnung. Die allgemeinen Verhaltungsvorschriften für die Arbeiter werden zweckmässig auch da durch eine Arbeitsordnung festgelegt, wo solche gemäss § 134 a der Reichsgewerbeordnung nicht besonders vorgeschrieben ist, also auch bei Betrieben, in welchen nicht regelmässig zwanzig Arbeiter beschäftigt werden.

Die Arbeitsordnung soll dem § 134 b entsprechend Bestimmungen enthalten:

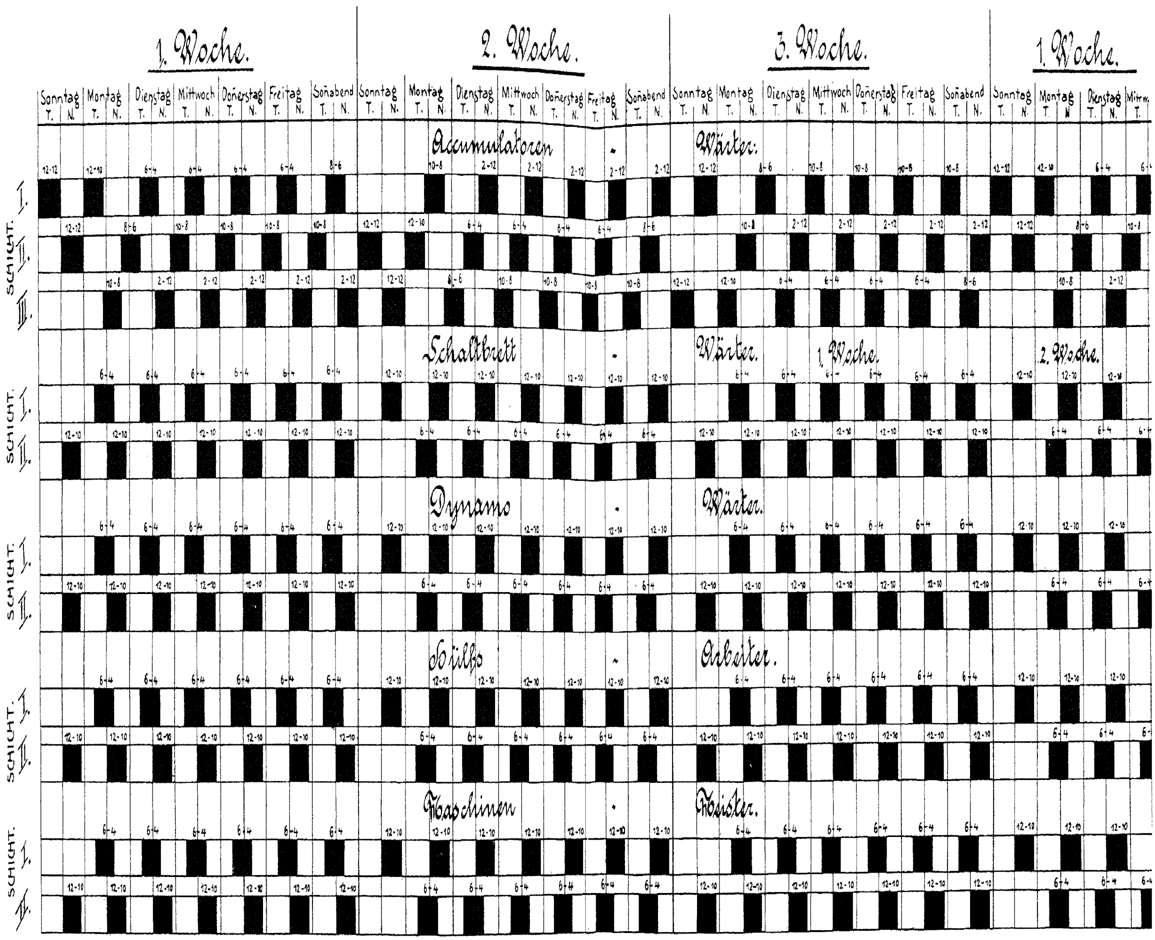
1. über Anfang und Ende der regelmässigen täglichen Arbeitszeit;
2. über Zeit und Art der Abrechnung und Lohnzahlung;
3. bei anderer als der in § 122 vorgeschriebenen Kündigungsfrist von 14 Tagen die vorgesehene Frist zur Aufkündigung, sowie die Gründe, aus welchen Entlassung und Austritt ohne besondere Aufkündigung erfolgen kann;
4. sofern Geldstrafen vorgesehen sind, die Art und Höhe derselben, sowie deren Verwendungszweck.

Ferner empfiehlt es sich, in die Arbeitsordnung Bestimmungen mit aufzunehmen über das Verhalten bei Ausführung der Arbeit, über Wahrung der allgemeinen Sicherheit und Ordnung, über Schadenersatzpflicht der Arbeiter, sowie über die Modalitäten bei Annahme der Arbeiter, wozu gehört: Vorlegung der Legitimationspapiere, Anerkennung der Arbeitsordnung durch Unterschrift, Beitrittspflicht zu einer bestimmten Krankenkasse, welche im Interesse der Einheitlichkeit und einfacheren Verrechnung erwünscht ist, und schliesslich noch eine Bestimmung darüber, wer von den Beamten berechtigt sein soll, die Annahme und Entlassung der Arbeiter vorzunehmen.

Die gesetzliche Kündigungsfrist von 14 Tagen empfiehlt sich da stets einzuführen, wo man es mit einer ruhigen und besonnenen Arbeiterschaft zu tun hat. Andernfalls sehe man von irgend einer Kündigungsfrist gänzlich ab; man erspart sich dadurch viel Ärger und Verdruss, sowie Zeitverlust durch die unabwendbaren Verhandlungen vor dem Gewerbegericht.

Da der Dienst bei einem Elektrizitätswerke in den meisten Fällen ununterbrochen Tag und Nacht währt, so wird die Festlegung der Zeiten für die einzelnen Schichten durch einen Dienstplan bewirkt, welcher zweckmässig eine graphische Form erhält, wie es z. B. Tafel XVI zeigt. Es empfiehlt sich, die Schichtdauer keinesfalls über zehn Stunden zu wählen. Für Arbeiten, welche eine hohe körperliche Anstrengung erfordern, wie z. B. das Kesselheizen, wird eine Reduktion der Arbeitszeit auf acht Stunden am Platze sein. Um jedoch die Einheitlichkeit zu wahren und auch für diese Arbeitergruppe eine zehnstündige Arbeitszeit zuzulassen, können diese Leute während der restlichen zwei Stunden mit Aufräumungsarbeiten oder dergleichen beschäftigt werden.

Die Natur eines Elektrizitätswerkes bringt es mit sich, dass auch Sonntags gearbeitet werden muss. Nach § 105 der Gewerbeordnung ist dieses für bestimmte Gewerbe, zu denen auch die Elektrizitätswerke zählen, zulässig. Es sind jedoch besondere Verzeichnisse anzulegen, in welche für



Schema eines Dienstplanes für eine Unterstation.

Verlag von S. Hirzel in Leipzig.

jeden einzelnen Feiertag die Zahl der beschäftigten Arbeiter, die Dauer ihrer Beschäftigung sowie die Art der Arbeiten einzutragen sind. Das Verzeichnis ist auf Erfordern der Ortspolizeibehörde sowie den in § 139b bezeichneten Beamten jederzeit auf Erfordern vorzulegen.

Des weiteren bestimmt der § 105c, dass jedem Arbeiter entweder an jedem dritten Sonntage volle 36 Stunden oder an jedem zweiten Sonntage, mindestens in der Zeit von 6 Uhr morgens bis 6 Uhr abends, eine Ruhepause zuzumessen ist.

Ausser einer Arbeitsordnung mit möglichst kurzen und klaren Bestimmungen kann zur Schaffung von gesunden Arbeiterverhältnissen sowie zu einem gedeihlichen Zusammenarbeiten von Arbeitern und Vorgesetzten und zur Vermeidung von ernsteren Differenzen zwischen Arbeitgebern und Arbeitnehmern die Schaffung von Arbeiterausschüssen beitragen, sofern die letzteren sich nicht lediglich zum willenlosen Werkzeuge der Führer der Arbeiterorganisationen hergeben, was nur eine Verschärfung der Gegensätze zur Folge haben würde. Den Arbeiterausschüssen, welche von der Gesamtheit der Arbeiter zu wählen sind, und in deren Sitzungen der Direktor des Werkes oder ein Stellvertreter desselben präsidiert, werden Anträge, Wünsche und Beschwerden, welche die gemeinschaftlichen Angelegenheiten der Arbeiter betreffen, zur Beratung unterbreitet. Die Ausschüsse tragen nach Prüfung und eventuell Berichtigung oder Zurückweisung der vorgelegten Materie den Gegenstand der Direktion vor, welche alsdann nach eigenem Ermessen beschliesst. Die Satzungen für die Arbeiterausschüsse[1]) haben sich zu beziehen auf den Wirkungskreis und die Zusammensetzung des Ausschusses, auf die Wahlberechtigung, das Wahlverfahren, die Art und Dauer des Mandats sowie auf Bestimmungen über die Ausschusssitzungen selbst. **100.** Arbeiterausschüsse.

Nach § 1 des Krankenversicherungsgesetzes vom $\frac{14.\,6.\,1883}{10.\,4.\,1892}$ unterliegen alle Arbeiter der Krankenversicherungspflicht, sofern nicht die Beschäftigung auf einen Zeitraum von weniger als eine Woche beschränkt ist. Auch Techniker, Ingenieure, Werkmeister und sonstige Betriebsbeamte sind krankenversicherungspflichtig, soweit deren Jahresarbeitsverdienst 2000 Mark nicht übersteigt. **101.** Krankenversicherung.

Nach erfolgtem Eintritt ist der Versicherungspflichtige längstens binnen drei Tagen vermittelst vorgeschriebener Formulare zu derjenigen Krankenkasse anzumelden, zu welcher der Betrieb gehört. Die gleiche Frist gilt für die Abmeldung.

Die schriftliche Meldung muss enthalten:

1. Vor- und Zunamen, Geburtsort, Alter und Wohnung des Arbeitnehmers;
2. den Zeitpunkt des Ein- bezw. Austrittes in die Beschäftigung und bei den männlichen, über 16 Jahre alten Personen den täglichen Arbeitsverdienst, welchen der Betreffende zunächst beziehen wird.

Sämtliche Meldungen müssen mit der Unterschrift des Arbeitgebers versehen sein sowie die Wohnung und die Betriebsart genau bezeichnen.

Änderungen im täglichen Arbeitsverdienst eines männlichen, über 16 Jahre alten Kassenmitgliedes sind von dem Arbeitgeber spätestens am dritten Tage nach dem Eintritt schriftlich anzumelden.

1) Vgl. Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1894, S. 928.

Die Verrechnung der Beiträge zur Krankenkasse hat in der Weise zu erfolgen, dass zwei Drittel der vollen Beiträge sowie das Eintrittsgeld jedem einzelnen Arbeiter bei der Wochenabrechnung in Abzug gebracht werden; das fehlende Beitragsdrittel übernimmt der Arbeitgeber.

Die Leistungen der Krankenkasse bestehen in freier ärztlicher Behandlung, Lieferung von Heilmitteln und im Falle der Erwerbsunfähigkeit vom dritten Tage ab in Gewährung eines Krankengeldes für jeden versäumten Arbeitstag, dessen Höhe sich nach der Klasse richtet, zu welcher der Arbeiter auf Grund seines Arbeitsverdienstes bezw. seiner Beiträge gehört.

Die Krankenunterstützung endet spätestens mit dem Ablauf der 52. Woche nach Beginn des Krankengeldbezuges. Den an den Folgen eines Betriebsunfalles leidenden Mitgliedern, welchen nach Massgabe des Unfallversicherungsgesetzes vom Beginn der 14. Woche ab ein Anspruch auf Unfallrente zusteht, werden die Leistungen der Krankenkasse nur auf die Dauer von 13 Wochen gewährt.

Die Beanspruchung von Krankenunterstützung muss im Kassenlokal unter Vorlegung des Mitgliedsbuches angezeigt werden, worauf ein als Legitimation dienender Krankenschein ausgestellt wird.

102. Unfallversicherung.

Das Gewerbeunfallversicherungsgesetz vom 30. Juni 1900 ist eine auf dem Boden des öffentlichen Rechts ruhende Fürsorge für die durch Betriebsunfälle Verletzten und deren Hinterbliebene. Dasselbe bestimmt, dass die Unternehmer aller haftpflichtigen Betriebe verpflichtet sind, ihre Arbeiter ohne Begrenzung des Arbeitsverdienstes sowie ihre Betriebsbeamten bis zu einem Jahreseinkommen von 3000 Mark, welche Grenze bei der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik bis auf 5000 Mark erweitert ist, auf alleinige Kosten der Unternehmer gegen die wirtschaftlichen Folgen solcher Betriebsunfälle zu versichern, welche den Tod herbeiführten, oder deren Folgen für die Gesundheit nach Ablauf von 13 Wochen, bis zu welchem Zeitpunkt die Krankenversicherung Platz greift, noch nicht beseitigt sind.

Die Versicherung erfolgt ausschliesslich durch Berufsgenossenschaften auf Gegenseitigkeit unter der Oberaufsicht des Reichsversicherungsamtes.

Über die Anmeldepflicht heisst es in § 56, dass jeder versicherungspflichtige Betrieb binnen einer Woche nach Beginn der Versicherungspflicht der unteren Verwaltungsbehörde, wie Ortspolizeibehörde, dem Landratsamt oder dergleichen, zu deren Bezirk der Betrieb gehört, anzumelden ist. Die Anmeldung muss enthalten:

1. Gegenstand und Art des Betriebes,
2. Zahl der versicherten Personen,
3. die Berufsgenossenschaft, welcher der Betrieb angehört,
4. Tag der Eröffnung des Betriebes.

Durch einen Aushang ist in jedem Betriebe davon Kenntnis zu geben, welcher Sektion der Berufsgenossenschaft der Betrieb angehört, sowie die Adresse des Sektionsvorstandes. Die Elektrizitätswerke zählen der Regel nach zu der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik.

Die Arbeiter, Betriebsbeamten, Werkmeister und Techniker sind strengstens anzuweisen, jeden, auch den geringsten Unfall dem Vorgesetzten zu melden. Der Betriebsunternehmer erstattet die Unfallanzeige auf vorgeschriebenem Formular, und zwar:

1. der Sektion der Berufsgenossenschaft, zu welcher der Betrieb gehört, und
2. der Ortspolizeibehörde, in deren Bezirk sich der Unfall ereignet hat.

Jährliche, der Berufsgenossenschaft einzureichende Lohnnachweisungen, welche auf Grund fortlaufend geführter Lohnbücher festgestellt sind, und aus denen die erforderlichen Angaben, wie Zahl der versicherten Personen und der Arbeitstage, sowie die von ihnen verdienten Gehälter und Löhne entnommen werden können, dienen dazu, die Höhe der Beitragspflicht unter Berücksichtigung der Gefahrenklasse zu bemessen.

Zur Verhütung von Unfällen sind seitens der Berufsgenossenschaft Vorschriften erlassen, deren strikte Befolgung geboten ist. Dieselben gliedern sich in Vorschriften für die Arbeitgeber und solche für die Arbeitnehmer und enthalten Verhaltungsmassregeln und Angaben über Schutzvorkehrungen, welche sich auf Grund der reichen Erfahrungen als unumgänglich notwendig zur Abwendung von Gefahren für das Personal herausgestellt haben.

Das Invalidenversicherungsgesetz vom 13. Juni 1899 bestimmt, dass versicherungspflichtig sind: **103.** Invalidenversicherung.

1. alle über 16 Jahre alten Arbeiter einschliesslich der Lehrlinge ohne Beschränkung auf eine bestimmte Lohnhöhe;
2. alle einen Jahresverdienst von 2000 Mark nicht übersteigenden Betriebsbeamte, Werkmeister, Techniker und Handlungsgehilfen. Auch nur vorübergehend Beschäftigte sind versicherungspflichtig.

Beim Eintritt in die Beschäftigung hat jeder versicherungspflichtige Angestellte seine Quittungskarte abzugeben, welche demselben bei seinem Austritt wieder zurückgestellt wird. Arbeiter ohne Quittungskarte dürfen nicht beschäftigt werden.

Die Verrechnung der Beiträge zur Invalidenversicherung erfolgt zu gleichen Teilen für den Arbeitgeber und Arbeitnehmer. Die Beiträge selbst sind für jede Beitragswoche zu entrichten; der Arbeitgeber hat die Beitragsmarken wöchentlich bei der Lohnzahlung einzukleben, falls dieses nicht, wie z. B. in Sachsen, durch die Krankenkassen mit besorgt wird. Die Beitragswoche beginnt mit dem Montag einer jeden Kalenderwoche.

Es sind Marken derjenigen Art in die Quittungskarten einzukleben, welche für die zur Anwendung kommende Lohnklasse von der zuständigen Versicherungsanstalt ausgegeben sind. Solche Marken hat der Arbeitgeber aus eigenen Mitteln zu erwerben.

Die Lohnklassen werden nach dem Jahresarbeitsverdienst bestimmt. Als Jahresarbeitsverdienst gilt nach § 34 Absatz 2 Ziffer 5 des Invalidenversicherungsgesetzes der 300fache Betrag des für die Krankenkassenbeiträge massgebenden durchschnittlichen Tagelohnes, welcher wiederum aus der betreffenden Krankenkassensatzung ersichtlich ist.

Die Unterlassung rechtzeitiger Verwendung der Beitragsmarken, insbesondere auch die Verwendung von Beitragsmarken einer niedrigeren Lohnklasse, ist strafbar.

Befreit von der Invalidenversicherungspflicht können Personen werden, welche das 70. Lebensjahr vollendet haben, und solche, denen auf Grund der Unfallversicherung eine jährliche Rente nach dem Satze der ersten Lohnklasse bewilligt ist.

Die Bestimmungen des Invalidenversicherungsgesetzes erstrecken sich sowohl auf männliche als auch weibliche, verheiratete und unverheiratete Personen. Auch die im Inlande beschäftigten Ausländer sind versicherungspflichtig.

Für Versicherte, welche im Laufe der Woche bei verschiedenen Arbeitgebern beschäftigt sind, ist derjenige Arbeitgeber zur Verwendung der Marken verpflichtet, welcher den Versicherten zuerst in der betreffenden Woche beschäftigt hat.

Anspruch auf Invalidenrente hat derjenige Versicherte, dessen Erwerbsunfähigkeit dauernd auf weniger als ein Drittel herabgesetzt ist. Des weiteren hat Anspruch auf Invalidenrente derjenige Versicherte, welcher während 26 Wochen ununterbrochen erwerbsunfähig gewesen ist, für die weitere Dauer seiner Erwerbsunfähigkeit.

Die Karenzzeit für versicherungspflichtige Personen ist auf 200 Wochen festgesetzt.

Ein Anspruch auf Rückerstattung der Hälfte der Beiträge steht auch solchen Versicherten zu, welche durch einen Unfall dauernd erwerbsunfähig werden und keine Invalidenrente erhalten.

Der Antrag auf Bewilligung einer Rente ist bei der für den Wohnort oder Beschäftigungsort zuständigen unteren Verwaltungsbehörde anzumelden. Bei derselben Behörde erfolgt auch der Antrag auf Rückerstattung der Beiträge.

Zur Auskunftserteilung über alle die Invalidenversicherung betreffenden Angelegenheiten sind die unteren Verwaltungsbehörden verpflichtet.

104. Wohlfahrtseinrichtungen.

Ausser dieser gesetzlich festgelegten Fürsorge für die Arbeitnehmer findet man bei manchen Werken noch besondere Wohlfahrtseinrichtungen, welche in erster Linie den Zweck haben, einen Stamm sesshafter und zufriedener Angestellter zu schaffen. Es ist ja nicht zu leugnen, dass die Entlohnung des weitaus grössten Teiles der Angestellten keine derartige ist, um bei eintretendem Unglück die damit verbundenen plötzlich auftretenden unvorhergesehenen Geldforderungen aus den laufenden Einnahmen decken zu können. Da es nun unmöglich ist, die Löhne so hoch zu bemessen, dass allen Eventualitäten Rechnung getragen werden kann, im allgemeinen auch die Bedürfnisse und Ausgaben der Arbeitnehmer in noch höherem Masse zu wachsen pflegen als die Einnahmen, so ist es eine der edelsten Aufgaben einer weisen Verwaltung, nach Möglichkeit den Sinn zum Sparen bei allen Angestellten zu wecken und zu pflegen, um einen jeden in die Lage zu versetzen, selbst bei unvorhergesehenen Fällen sich auf seine eigene Kraft zu verlassen.

Der nächste Schritt zur Abwendung von Elend und Not unter den Angestellten wird zweckmässigerweise die Bildung einer Unterstützungskasse sein, über deren Mittel am besten eine gemischte Kommission im Bedarfsfalle zu verfügen hat.

Eine weitere Ausdehnung der Wohlfahrtseinrichtungen nach der Seite hin, auch eine Pensions-, Witwen- und Waisenkasse einzuführen, stösst auf wesentliche Bedenken und Schwierigkeiten.

Zunächst kann eine Pensionskasse nur in einem sehr grossen Verbande in gedeihlicher Weise bestehen und sich entwickeln. Sodann ergeben sich ganz bedeutende Schwierigkeiten dadurch, dass den Mitgliedern der Kasse naturgemäss das Recht vorbehalten bleiben muss, aus dem Verbande des

Werkes auszuscheiden, wann es ihnen beliebt. Da aber das ausscheidende Mitglied keine Einbusse an seinem Vermögen zu Gunsten eines ihn ferner nichts mehr angehenden Unternehmens erleiden will, so wird das Mitglied die Rückzahlung der eingezahlten Beträge nebst Zinsen beanspruchen. Dieses würde aber die Lebensfähigkeit der Kasse ohne ganz bedeutende Zuschüsse des Werkes auf alle Fälle in Frage stellen.

Eine Ausdehnung des Pensionskassenzwanges auch auf die Arbeiter würde dann sogar eine grosse Härte und ein schwerer Fehler sein, wenn denselben auch nur der geringste Verlust ihrer eingezahlten Beiträge durch den Austritt zugemutet würde; denn der Arbeiter wird stets seine Arbeitskraft so teuer wie nur irgend möglich verkaufen und normalerweise jede günstige Gelegenheit zur Verbesserung seiner Lage ergreifen, er bleibt daher auch immer in gewissem Grade ein Zugvogel. Es würde einer Ausbeutung gleichkommen, wenn dem Arbeiter Geldopfer im Interesse einer Kasse auferlegt werden, von der derselbe kaum jemals Vorteile zu erwarten hat.

Für die Schaffung von Wohlfahrtseinrichtungen empfiehlt sich daher am meisten und verspricht den grössten Erfolg die eingangs angeführte Errichtung einer Sparkasse und einer Unterstützungskasse.

In welch geradezu hervorragender Weise diese Aufgabe gelöst werden kann, zeigt die Sparordnung mit Gewährung von Zuschusszinsen für die Beamten und Arbeiter der Deutschen Continental-Gasgesellschaft. Diese Gesellschaft hat die Einrichtung getroffen, dass ihren sämtlichen Beamten und Arbeitern jährliche Zinszuschüsse aus Geschäftsmitteln auf solche bei öffentlichen Sparkassen gemachten Einlagen gewährt werden, welche nachweislich aus den von der Gesellschaft gezahlten Gehältern, Löhnen, Gratifikationen u. s. w. herrühren. Als höchster jährlicher Sparbetrag gelten 10 % des Jahresverdienstes, und als höchstes Sparguthaben, welches den Zinszuschuss von 7 % geniesst, der Betrag von 3000 Mark.

Das freie Verfügungsrecht über sein erspartes Vermögen steht jedem Angestellten zu. Die erforderliche Geschäftsführung dieser Wohlfahrtseinrichtung wird seitens der Gesellschaft durch Beamte des Werkes, welche zur absoluten Verschwiegenheit verpflichtet sind, kostenlos bewirkt.

Um den erforderlichen Fonds zur Errichtung und Erhaltung einer Unterstützungskasse zu schaffen, sind dieser angemessene Beträge aus den jährlichen Geschäftserträgnissen zu überweisen, auch können der Kasse etwaige Strafgelder, von welchen allerdings möglichst Abstand zu nehmen ist, zugeführt werden.

Die Wohlfahrtsbestrebungen finden auch ein reiches und fruchtbares Feld der Betätigung auf dem Gebiete der Wohnungsfrage durch Beschaffung preiswerter und gesunder Wohnungen für die Arbeitnehmer, ferner durch Gründung und Unterstützung eines auf genossenschaftlicher Basis beruhenden Einkaufsvereins oder Konsumvereins, welcher den Mitgliedern die Vorteile des Bezuges in grossen Mengen zunutze macht, sodann durch Abgabe guten, schmackhaften und preiswerten Essens, sei es in eigener Kantine oder eigenem Klubhause, wie man dieses in Amerika sehr vielfach antrifft, oder auf Grund vertraglicher Vereinbarungen mit einer benachbarten Wirtschaft.

Auch auf geistigem und geselligem Gebiete lässt sich vieles tun durch tatkräftige Unterstützung entsprechender Bestrebungen unter den Arbeitern, wie z. B. durch Beihilfe zu Vortrags- und Unterhaltungsabenden, gemeinschaftlichen Ausflügen und Sportübungen.

105. Lohn- und Gehaltssätze. Die Höhe der Gehälter und Löhne richtet sich zu sehr nach den örtlichen Verhältnissen, als dass allgemein gültige Normen aufgestellt werden könnten. Sofern die benötigten Kategorien von Arbeitern am Orte vertreten sind, ist es auf alle Fälle zweckmässig, die ortsüblichen Lohnsätze zur Anwendung zu bringen, deren Höhe durch Umfrage leicht zu ermitteln ist. Einen sehr schätzenswerten Anhalt zur Festsetzung angemessener Gehälter und Löhne bietet auch der Vergleich mit anderen Elektrizitätswerken.

Sehr zu empfehlen ist die Aufstellung einer bestimmten Lohnskala für die einzelnen Kategorien, in welcher die Höhe der Zulagen und die Zeitabschnitte, nach welchen dieselben einzutreten haben, verzeichnet sind. Dadurch wird der Willkür der Meister vorgebeugt und Ungerechtigkeiten vermieden.

Im übrigen lasse man sich bei der Bemessung des Einkommens seiner Angestellten nicht zu sehr von kleinlichen Rücksichten leiten, sondern suche einen jeden so zu stellen, dass er seinem Stande entsprechend leben kann; denn allgemeine Not und Sorgen unter den Arbeitnehmern erzeugen Erbitterung und Hass und kommen durch Unzuverlässigkeit und mangelhafte Arbeit zum grössten Schaden des Werkes zum Ausdruck.

106. Stromlieferungsbedingungen. Die Rechtsgrundlage für die Lieferung der elektrischen Energie bilden die Stromlieferungsbedingungen. Dieselben sollen die Rechte und Pflichten sowohl des Werkes als auch der Konsumenten in präciser und umfassender Form enthalten, damit Meinungsverschiedenheiten ausgeschlossen sind, und langwierigen Prozessen der Boden entzogen ist.

Am zweckmässigsten werden die Stromlieferungsbedingungen einem mit jedem einzelnen Konsumenten abzuschliessenden Stromlieferungsvertrage zu Grunde gelegt, dessen Dauer so bemessen wird, dass derselbe stillschweigend von Jahr zu Jahr weiterläuft, sofern nicht von der einen oder anderen Seite eine vierteljährliche Kündigung vor Ablauf des Vertrages erfolgt.

Die Stromlieferungsbedingungen sollen im wesentlichen folgende Punkte behandeln:

a) die Verpflichtung des Werkes zur Lieferung der benötigten Elektrizität. Dieselbe ist in vollem Umfange des dem angemeldeten Anschluss entsprechenden Bedarfes zu jeder beliebigen Tages- und Nachtzeit zu fordern;

b) die Ausnahmen, wann das Werk von der Stromlieferung ohne vorherige Kündigung und ohne die Verpflichtung zum Schadenersatz entbunden ist. Hierunter fallen die Hinderungsgründe, deren Abwendung nicht in der Macht des Werkes liegt, wie Feuersgefahr, Naturereignisse, Krieg oder Aufstand, überhaupt alle Fälle höherer Gewalt; ferner Betriebsstörungen und Streiks. Die Verpflichtung zur Stromlieferung ruht in diesen Fällen so lange, bis die Störungen und deren Folgen beseitigt sind.

Die Berechtigung zu einer Einstellung der Stromlieferung ohne vorgängige richterliche Entscheidung muss sich das Werk in dem Falle vorbehalten, dass der Konsument seinen Verpflichtungen nicht nachkommt;

c) den Stromtarif. Hierzu vgl. Hdb. VII 1, S. 113. Möge der Tarif aufgebaut sein wie er wolle, so werden sich doch wohl stets Verwendungszwecke des Stromes finden, für welche Ausnahmen nicht nur erwünscht, sondern im Interesse des Gedeihens des Werkes sogar geboten sein werden.

Vor allem werden dieses Anlagen sein, welche in der Lage sind, ihren Strombedarf gänzlich auf diejenige Zeit zu beschränken, während welcher das Werk am schwächsten in Anspruch genommen ist, oder welche ihren Strombedarf während des Strommaximums aus einem eigenen Akkumulator decken, und sodann Grosskonsumenten mit ganz bedeutendem Verbrauch.

Zum grössten Teil können diese verschiedenen Verhältnisse in Spezialtarifen Berücksichtigung finden; den Rest wird man besonderen Verträgen vorbehalten müssen.

Die Spezialtarife brauchen nicht notgedrungen stets eine Verbilligung einzuschliessen, vielmehr ist in manchen Fällen eine Erhöhung des normalen Strompreises geboten, wie z. B., wenn ein Konsument denjenigen Strom, an welchem das Werk etwas verdienen würde, aus einer Blockstation bezieht und die ungünstigen Objekte ans Werk anschliessen lässt. In solchen Fällen empfiehlt es sich, einen höheren Strompreis zu Grunde zu legen. Des weiteren können höhere Preise oder besondere Abgaben am Platze sein bei stark intermittierenden Betrieben, wie Fahrstühlen u. s. w.

Auch die Benutzung des Elektrizitätswerkes als Reserve für eine eigene Stromerzeugungsanlage muss entsprechend teuer in Rechnung gestellt werden, falls man nicht vorzieht, dieses überhaupt auszuschliessen;

d) die Art der Feststellung des Stromverbrauches, des Systems der Elektrizitätszähler und die Höhe der Entschädigung für Überlassung derselben.

Nur in seltenen Ausnahmefällen wird von der Messung des Verbrauches Abstand zu nehmen sein und nach Pauschale verrechnet. Die Elektrizitätsmesser sind ausschliesslich vom Werk zu liefern und zu unterhalten. Der Konsument haftet jedoch für alle äusseren Beschädigungen und ist gegebenenfalls zur Anbringung eines Schutzkastens verpflichtet. Über den Anbringungsort und die Grösse des Zählers entscheidet das Werk.

Für den Fall, dass der Messer unrichtig befunden wird oder stehen geblieben ist, sind besondere Vereinbarungen zu treffen über die alsdann stattzufindende Verrechnungsart und über den Zeitraum, auf welchen sich die Nachberechnung höchstens erstrecken soll;

e) die Zahlungsbedingungen. Unter dieselben fällt die Festsetzung des Zeitraumes, über welchen die Rechnungen sich erstrecken sollen; ferner die Zahlungsfrist sowie die Höhe und Art der zu leistenden Sicherheit;

f) die Ausführung der Hausanschlüsse. Dieselben werden ausschliesslich vom Elektrizitätswerk bis zu der Hauptsicherheitsschaltung ausgeführt, und zwar entweder für Rechnung der Konsumenten oder gegen eine einmalige Gebühr, welche sich nach der Grösse des Anschlusses richtet;

g) die Ausführung der Installation. Über jede anzuschliessende Installation hat der Konsument eine schriftliche Anmeldung einzureichen. Die Ausführung der Installationsarbeiten überlässt man zweckmässig der freien Konkurrenz durch konzessionierte Installateure. Für Prüfung der von den Installateuren einzureichenden Projekte, für die Überwachung der Installationsarbeiten und für die Abnahmeprüfung der Anlage vor erfolgendem Anschluss hat der Konsument eine tarifmässig festzusetzende Gebühr zu entrichten; eine Erweiterung der Anlage unterliegt denselben Bedingungen. Der Abnehmer ist ferner zu verpflichten, die gesamte Anlage dauernd in ordnungsmässigem Zustande zu erhalten;

h) die Revision der Installation. Das Elektrizitätswerk behält sich das Recht vor, die gesamte Anlage, einschliesslich Zähler und Hausanschluss, von Zeit zu Zeit zu revidieren und die Beseitigung vorgefundener Mängel vom Konsumenten zu fordern. Zu diesem Zwecke ist den Angestellten der Zutritt zu allen mit Leitungen belegten Räumlichkeiten jederzeit zu gestatten. Im Weigerungsfalle ist das Werk berechtigt, die Anlage vom Netz zu trennen.

Vom Konsumenten beanspruchte Revisionen werden auf dessen Rechnung bewirkt.

Ermittelte eigenmächtige Eingriffe oder gar missbräuchliche Entnahme der Elektrizität können ausser gerichtlicher Verfolgung mit Geldstrafen geahndet werden;

i) die Kündigungsfrist. Stromlieferungsverträge sind tunlichst nicht unter der Dauer von einem Jahre abzuschliessen; darüber hinaus genügt eine vierteljährliche Kündigungsfrist.

Ausser diesen Bedingungen kann noch festgesetzt werden, wann das Werk Erweiterungen des Netzes zum Anschluss neuer Konsumenten vorzunehmen bereit ist. Hier dürfte vom Konsumenten entweder auf eine bestimmte Reihe von Jahren eine Garantie eines Mindestkonsums zu fordern sein, oder demselben wird ein Teil der Verzinsung und Amortisation aufgebürdet.

Des weiteren sind gewisse Erleichterungen für die Konsumenten in Erwägung zu ziehen, wie mietweise Überlassung von Motoren, Lampen oder ganzen Einrichtungen, ferner kostenloser Ersatz der Glühlampen u. s. w., weil alles dieses zum Prosperieren des Werkes sehr beiträgt.

107. Installationsvorschriften. Die Installationsvorschriften sollen bezwecken, dass alle Anschlussanlagen in einer technisch so vollkommenen Weise hergestellt werden, dass sowohl Störungen des Betriebes der einzelnen Anschlussanlagen als auch Rückwirkungen auf andere Anlagen und das Werk auf das denkbar geringste Mass reduziert werden.

Da die Installationen von Installateuren ausgeführt werden, so sind die Vorschriften in erster Linie für die letzteren bestimmt, und diese daher zu verpflichten, den Bestimmungen in allen Punkten strikte nachzukommen.

Die Installateure haben jede übernommene Installation, sei es Neuanlage oder Erweiterung, unter Einreichung entsprechender Projektzeichnungen beim Werk rechtzeitig anzumelden, und es wird nach stattgefundener Prüfung der Projekte und nach erfolgter Meldung über die Fertigstellung der Installation ein Abnahme-Prüfungstermin anberaumt.

Die in Gegenwart des Installateurs oder seines Vertreters vorzunehmende Prüfung erstreckt sich auf Erfüllung der Vorschriften. Ist alles vorschriftsmässig befunden worden, so wird der Anschluss an das Leitungsnetz bewirkt.

Die Verantwortung für gute Instandhaltung der Anlage fällt dem Eigentümer zu.

Den Installateuren ist eventuell die Verpflichtung aufzuerlegen, Muster aller von ihnen zu verwendenden Installationsmaterialien dem Werk vorzulegen, damit unnötige Kosten und Zeitverluste durch Beanstandungen nach Fertigstellung der Anlage vermieden werden.

Für die Projektzeichnungen, welche als Grundlage für die Prüfung seitens des Werkes dienen, ist ein bestimmter Massstab vorzuschreiben, ebenso

sind Bestimmungen zu treffen über die Vermerke auf denselben, damit die Prüfung mit dem geringsten Zeitaufwand ermöglicht wird. Auf den Zeichnungen muss vermerkt sein: Name und Wohnung des Anmelders und des Installateurs, Datum der Einreichung, Verlegungsart der Leitungen sowie Ort, Zahl und Energiebedarf der Stromverbrauchsgegenstände.

Den Installationsvorschriften werden die Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker zu Grunde gelegt, welche eventuell noch zu ergänzen sind. Hierher gehört eine Vorschrift über Konstruktion und Grösse der Unterlagen für die Zähler, über den zulässigen Spannungsverlust in den Leitungen, über den Mindestverbrauch der gebräuchlichsten Stromverbrauchsgegenstände, welcher bei der Wahl der Schalter und der Berechnung der Leitungen zu Grunde zu legen ist, ferner Bestimmungen, wie bei Mehrleiteranlagen die Belastung auf die einzelnen Zweige zu verteilen und zu begrenzen ist, und in welchen Fällen die ganze Installation als Zweileiteranlage ausgeführt werden darf; welche Verlegungsart für den neutralen Leiter zu wählen ist; welches System der Sicherheitsschalter genommen werden muss, und wie diese gruppenweise zu centralisieren sind; wie die Räume zur Aufnahme der Sicherungen und Zähler beschaffen sein sollen; ferner bei Motoranschlüssen Bestimmungen über Anlasser und Regulierwiderstände zur Vermeidung störender Spannungsschwankungen und eventuell über Kenntlichmachung der Kraftleitungen in ihrem ganzen Verlauf.

Am Schlusse eines jeden Geschäftsjahres, welches nicht notgedrungen mit dem Kalenderjahre zusammenfallen muss, ist ein Überblick zu geben über den Geschäftsgang und die Erfolge des verflossenen Jahres, dem eine Bilanz mit Gewinn- und Verlustrechnung anzufügen ist, wie dieses z. B. für Aktiengesellschaften nach Artikel 239 des Handelsgesetzes sogar vorgeschrieben ist. In diesem Geschäftsberichte werden die wichtigen Ereignisse angeführt und die Verhältnisse näher erläutert, welche von wesentlichem Einfluss auf das Geschäftsergebnis waren. Auch ist ein Ausblick auf das kommende Geschäftsjahr am Platze, namentlich wenn dasselbe aussergewöhnliche Forderungen stellt, wie z. B. die Bereitstellung von Geldmitteln für notwendige Erweiterungen oder für Erneuerungen von Betriebsmitteln, welche den gehegten Erwartungen nicht entsprochen haben u. s. w. Auch die Zahlenwerte über Grösse des Anschlusses, geordnet nach den verschiedenen Kategorien, sowie die dafür nutzbar abgegebene Energie und die erzielten Nettopreise sind aufzuführen. **108.** Jahresbericht.

Bei Aufstellung der Bilanz ist nach kaufmännischen Grundsätzen zu verfahren. Hierzu gehört es auch, den Buchwert der Anlage entsprechend der durch Abnutzung bedingten Entwertung von Jahr zu Jahr herabzusetzen, was durch die Abschreibungen bewirkt wird. Die Quote derselben richtet sich nach dem voraussichtlichen Zeitraum, innerhalb dessen ungünstigsten Falles eine vollständige Abnutzung der einzelnen Glieder der Anlage zu erwarten ist.

Es ist üblich, von dem jeweiligen Buchwerte der Betriebsmittel abzuschreiben:

auf Gebäude $^1/_2$—2 %,
„ maschinelle Einrichtungen einschliesslich Transformatoren und Schaltanlage 5—$7^1/_2$ %,
„ Akkumulatoren 10 %,

auf Kabelleitungen 3—4 %,
„ oberirdische Leitungen 10—15 %,
„ Elektrizitätszähler 15—25 %,
„ Betriebsutensilien 20—100 %,
„ Inventar 20—100 %.

109. Verkehr mit den Behörden. Ein Elektrizitätswerk, welches die öffentlichen Strassen und Wege zur Unterbringung der Leitungen benutzt, greift vielfach in die Wirkungssphäre anderer Behörden und Verwaltungen ein, und es ist mit den letzteren daher eine rechtzeitige Verständigung über die Erweiterung oder Veränderung der Anlage vor deren Ausführung geboten. Auch der Betrieb in der Centrale ist gegebenenfalls der behördlichen Kontrolle unterworfen, weshalb eine kurze Besprechung der einschlägigen Verhältnisse angezeigt erscheint.

Zur Unterbringung oder Veränderung der Leitungen des Elektrizitätswerkes bedarf es, abgesehen von vertraglich festgelegten Sonderbestimmungen, der Genehmigung des Besitzers des Grund und Bodens, welcher die Leitungen aufnehmen soll. Dieses kann entweder der Fiskus, der Kreis, die Amtshauptmannschaft, die Stadt, die Gemeinde oder eine Privatperson sein. Ausserdem kommen in Frage die Besitzer von solchen Anlagen, welche bereits einen Teil der Strassen und Wege in Anspruch nehmen, wie z. B. die Post, Kanalisations-, Gas- und Wasserwerke u. s. w., soweit dieselben durch die Anlagen des Elektrizitätswerkes beeinflusst werden.

Die Einwilligung aller interessierten Behörden und Verwaltungen wird schriftlich nachgesucht unter Beifügung eines Situationsplanes in so viel Exemplaren, als Verwaltungszweige in Frage kommen. Ist die Genehmigung erteilt, so muss der Regel nach noch der genaue Termin zum Beginn der Arbeiten angezeigt werden, damit etwaige im Interesse des Verkehrs oder bereits vorhandener Anlagen erforderliche Massnahmen rechtzeitig getroffen werden können. Auf möglichst geringe Störung des Verkehrs durch die Verlegungsarbeiten und schnellste Wiederherstellung des normalen Zustandes der Wege ist grösstes Gewicht zu legen.

Ein Aufsichtsrecht in der Centrale selbst steht der Berufsgenossenschaft und bei konzessionspflichtigen Anlagen auch der Gewerbeinspektion zu. Die letztere hat ihr Augenmerk auf Erfüllung der Bestimmungen der Gewerbeordnung und etwa in Frage kommender besonderer in der Konzession vorgesehener Bestimmungen zu lenken. Die Gewerbeinspektoren haben nicht nur die schädigenden Einwirkungen der Gewerbe auf die Arbeiter durch Anordnung entsprechender Massregeln zu verhindern, sondern auch dafür Sorge zu tragen, dass die Nachbarschaft und das allgemeine Wohl keine unzulässige Schädigung seitens der Betriebe erleidet. Die Berufsgenossenschaft beschränkt sich dagegen lediglich auf die Sorge um das Wohl der Arbeitnehmer.

Sechster Abschnitt.

Die technische Leitung des Elektrizitätswerkes.

I. Der Betrieb der Centralstation.

Ein sachgemäss geleiteter Betrieb bedingt nicht nur die richtige Anpassung der Leistungsfähigkeit der in Dienst gestellten Betriebsmittel an die Forderungen des Stromkonsums, sondern es ist eine der wichtigsten Aufgaben der Betriebsleitung, den Nutzeffekt der verschiedenen Betriebsmittel stets auf einer solch vollkommenen Stufe zu erhalten, wie es technisch nur möglich ist, was eine eingehende und dauernde Kontrolle derselben unbedingt erfordert. **110.** Allgemeines.

Die Verminderung des Wirkungsgrades der Betriebsmittel hat nicht nur eine Verteuerung der Stromproduktion im Gefolge, sondern auch unter Umständen eine Verminderung der Leistungsfähigkeit des Werkes. Je teurer der Energieträger ist, um so grösseren Einfluss auf das wirtschaftliche Ergebnis hat die geringste Verschlechterung des Wirkungsgrades der Anlage, und um so eifriger ist die Wiederherstellung normaler Verhältnisse zu betreiben.

Um den elektrischen Strom in dem Umfange liefern zu können, wie es der Bedarf bedingt, muss für entsprechende rechtzeitige Indienststellung weiterer Betriebsmittel bei zunehmendem Konsum und Wiederabschaltung derselben bei Verminderung des Strombedarfes Sorge getragen werden, wozu eine Reihe sachverständiger Personen benötigt wird, die sich in Arbeiter und Aufsichtsbeamte gliedern.

Die Arbeiter werden mit wenig Ausnahmen zweckmässig aus der Klasse der ungelernten Arbeiter gewählt und für die speziellen Anforderungen des Betriebes im Werk selbst angelernt. Hierher gehören alle Arbeiten, welche keine Handfertigkeit erfordern, wie z. B. das Bedienen der Maschinen, Kessel, Pumpen u. s. w. Nur für Reparaturen und Montagen sind einige wenige Professionisten zu halten, welche auf Anweisung und unter der speziellen Aufsicht des Maschinenmeisters oder des Betriebsingenieurs ihre Tätigkeit entwickeln. Selbstverständlich müssen unter diesen Umständen die Aufsichtsorgane und insbesondere die Maschinenmeister tüchtige und erfahrene sowie energische Personen sein.

Ist der Umfang des Werkes ein so geringer, dass zur Bedienung überhaupt nur einige wenige Leute benötigt werden, so muss der Maschinenmeister den grössten Teil der im Werk vorkommenden Reparaturarbeiten selbst ausführen.

Je kleiner das Werk ist, um so mehr ist auch das Aufsichtspersonal zu beschränken. Um trotzdem in solchen Fällen möglichst jederzeit eine sachverständige Persönlichkeit zur Verfügung zu haben, wird dem Maschinenmeister tunlichst im Werk eine Dienstwohnung eingeräumt. Der Nachtdienst kann dann dem Arbeiterpersonal ohne besondere Aufsicht anvertraut werden. Bei Vorhandensein einer Akkumulatorenbatterie ist in kleinen und mittleren Werken jegliches Wärterpersonal in der Nacht entbehrlich.

Bei sehr grossen Werken dagegen soll ununterbrochen Personal zugegen sein, um bei auftretenden Störungen die Betriebsleitung benachrichtigen zu können. damit entsprechende Gegenmassregeln sofort ergriffen werden können.

Dem Maschinenmeister, welcher die Seele des Betriebes sein soll, steht die Aufsicht über das Personal und über die Betriebsführung zu. Derselbe bewirkt nach Bedarf die Annahme und Entlassung der Arbeiter im Einvernehmen mit dem Betriebsingenieur, auch kommt demselben die sachgemässe Führung der Lohnlisten zu, sowie die Verantwortung für sparsamen Verbrauch der Betriebsmaterialien. Die Angaben der Arbeiter über das verbrauchte Quantum sind von ihm zu prüfen und zu sammeln, damit eine kaufmännische Verrechnung und statistische Verwertung möglich ist.

Zur Begleichung kleiner, im Betrieb vorkommender Zahlungsforderungen wird es in vielen Fällen angebracht sein, dem Maschinenmeister eine Kleinkasse zu überweisen. Über die geleisteten Zahlungen und die Einnahmen ist in einem einfachen Kassabuch die Nachweisung zu führen, und das letztere monatlich abzuschliessen.

Der Betriebsingenieur ist verantwortlich für die sachgemässe und wirtschaftliche Führung des Betriebes und für die Erhaltung der Betriebsmittel auf einer technisch vollkommenen Stufe. Von demselben sind in regelmässigen Zwischenräumen Kontrollmessungen vorzunehmen, welche möglichst so exakt auszuführen sind wie bei den Abnahmeversuchen. Die sich dabei ergebenden Fehler sind sofort zu beseitigen.

Auch eine fortlaufende Kontrolle der Qualität aller Betriebsmaterialien hat derselbe zu bewirken.

Schliesslich muss der Betriebsingenieur durch Vergleich der Betriebsresultate mit früher erzielten und solchen anderer Werke prüfen, ob und wo Verbesserungen oder Ersparnisse vorgenommen werden können. Um dieses zu ermöglichen, hat er dahin zu wirken, dass die erforderlichen Aufzeichnungen der Betriebsresultate auch in einer brauchbaren Form erfolgen, und muss demnach der Betriebsstatistik ein Hauptaugenmerk schenken.

Im übrigen hat der Betriebsingenieur den ihm unterstellten Maschinenmeister mit Rat und Tat zu unterstützen und dessen Tätigkeit zu leiten und zu beaufsichtigen und da, wo es Not tut, persönlich einzugreifen.

a) Die Kontrolle des Dampfkesselbetriebes.

111. Die Dampfproduktion.

Die Tätigkeit der Heizer besteht in erster Linie darin, das Feuer so zu unterhalten und dem Kessel das Speisewasser möglichst so zuzuführen, dass die Dampfspannung konstant bleibt, und der Wasserstand im Kessel eine unveränderte Höhe behält. Da der Dampfdruck bei plötzlicher Steigerung der Dampfentnahme sinkt und bei Verminderung des Dampfverbrauches ansteigt, so wird der Heizer in den Stand gesetzt, aus den veränderten

Angaben des Manometers auf die Änderung in der Beanspruchung der Kesselanlage zu schliessen und das Feuer entsprechend zu regeln.

Die Grösse der Dampfproduktion vermag der Heizer daran zu erkennen, wie weit das Speiseventil geöffnet sein muss, um einen konstanten Wasserstand zu erhalten; auch kann er aus der minutlichen Umdrehungszahl der Speisepumpen auf die Dampfproduktion schliessen, denn das zugeführte Speisewasser ist der Ersatz für das verdampfte Wasserquantum.

In einfacherer und zuverlässigerer Weise wird die Belastung des Kessels durch den bereits auf Seite 136 des ersten Teiles dieses Bandes erwähnten Belastungsmesser für Dampfkessel, Patent GEHRE, bestimmt, wie ihn die Fig. 113 darstellt. Dieser Apparat zeigt sofort und fortlaufend an, wie stark der Kessel auf seiner Heizfläche pro Quadratmeter und Stunde beansprucht wird.

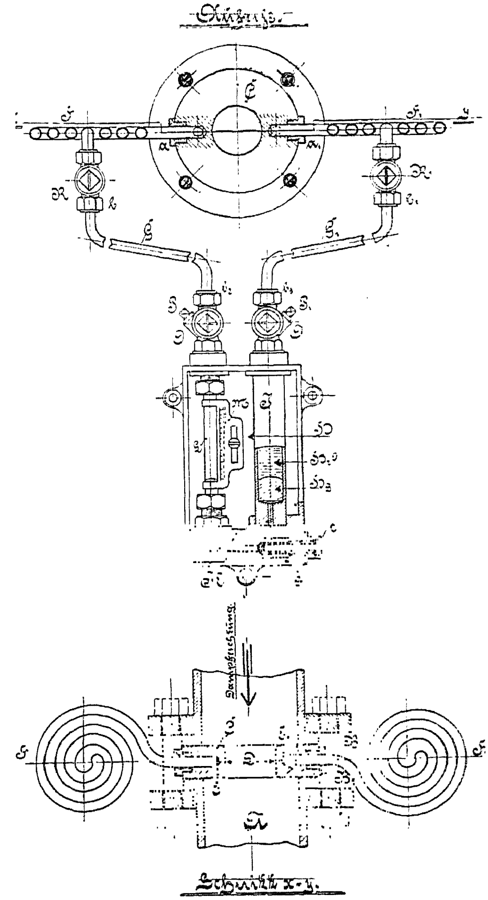


Fig. 113. Dampfverbrauchsmesser System GEHRE der Firma HALLWACHS & Co.

Weicht der Dampfdruck infolge Unaufmerksamkeit der Heizer von dem normalen Wert ab, so wird bei zu hohem Druck das Sicherheitsventil abblasen, wodurch Dampfverluste entstehen. Eine beträchtliche Überschreitung der Dampfspannung kann sogar eine Explosion im Gefolge haben. Bei zu geringem Dampfdruck wird die Leistungsfähigkeit der Dampfmaschinen vermindert, sowie der Nutzeffekt herabgedrückt.

Sehr gefährlich für den Betrieb ist ein unaufmerksames Speisen der Kessel; denn wird der Kessel überspeist, so wird Wasser mitgerissen, und es können durch Wasserschläge verhängnisvolle Brüche der Rohrleitungen und Dampfmaschinen erfolgen. Andererseits kann ein zu geringes Speisen der Kessel ein derartiges Sinken des Wasserspiegels zur Folge haben, dass durch die direkte Einwirkung der Feuergase auf die vom Wasser nicht berührten Teile der Kesselwandung diese ausgeglüht und die Festigkeit des Materials soweit vermindert wird, dass ein Platzen und dadurch eine Explosion eintritt. Vom sicherheitstechnischen Standpunkt ist demnach die Konstanterhaltung des Dampfdruckes und des normalen Wasserstandes das Haupterfordernis für einen einwandsfreien Dampfkesselbetrieb.

112. Das Heizen.

Wie im Vorhergehenden bemerkt, ist das Feuer so zu regeln, dass die Dampfspannung konstant bleibt. Ausserdem soll der Heizer aber noch so

1) Vgl. Hdb. VII, 1, S. 126.

heizen, dass das Feuerungsmaterial den grössten Teil seiner Wärme an das Kesselwasser abgiebt.

Der grosse Einfluss der vorteilhaftesten Ausnutzung des Brennmaterials auf das Geschäftsergebnis und die ausserordentliche Mannigfaltigkeit derjenigen Faktoren, welche den Nutzeffekt der Kesselanlage ungünstig zu beeinflussen vermögen, bedingen ein näheres Eingehen auf die einschlägigen Verhältnisse.

Das Kesselwasser wird um so mehr Wärme des Brennmaterials aufnehmen, je höher die Temperatur der Heizgase und je grösser die wasserberührte Heizfläche ist, und je längere Zeit die Heizgase auf die Kesselheizfläche einwirken, bezw. je geringer die Geschwindigkeit der Heizgase ist.

Die Erfüllung der letzteren Forderung wird durch die Feuerzüge wesentlich unterstützt, welche bei genügendem Querschnitt so angelegt werden, dass die Feuergase mehrere Male in wirbelnder Bewegung am Kessel entlang geführt werden und die Heizfläche möglichst senkrecht treffen.

Die Sorge des Heizers ist es also, durch Unterhaltung eines lebhaften Feuers eine hohe Temperatur der Heizgase zu erzielen, und durch möglichste Verminderung der Zugwirkung den Luftüberschuss in den Feuergasen und deren Geschwindigkeit auf das geringste erreichbare Mass zu bringen, ohne dass die erstere Forderung darunter leidet.

Ein lebhaftes Feuer wird zwar durch gesteigerte Zuführung von Verbrennungsluft leichter erreicht; es würde jedoch ein sehr grosser Fehler sein, dieses bei möglichst geringer Brennschicht und starkem Zuge herbeizuführen. Bei geringer Schütthöhe und starkem Zuge brennt infolge der Verschiedenheit des Brennmaterials dieses auf dem Roste verschieden ab, so dass ein erhöhter Luftüberschuss[1]) in das Feuer eintritt, was sowohl eine Verminderung der Verbrennungstemperatur als auch eine mit grossen Nachteilen verknüpfte Vergrösserung der Schornsteinverluste zur Folge hat, da die überschüssige Luft ebenfalls hoch erhitzt werden muss, und diese Wärme zum grossen Teil aus dem Schornstein entweicht.

Das Bestreben des Heizers ist also darauf zu richten, die Dampfspannung bei hinreichender Schütthöhe und möglichst vermindertem Zug zu erhalten. Ein gutes Feuer soll eine gleichmässige, lebhafte Glut aufweisen. Ebenso soll der Aschenfall gleichmässig hell erleuchtet erscheinen. Da wo der Aschenfall dunkel erscheint, ist der Rost durch Asche verstopft, und der Luftzutritt verhindert. Es ist alsdann ein Schüren des Feuers erforderlich.

Zeigt das Feuer im Feuerraum keine intensive gleichmässige Glut, so ist der Luftwiderstand zu gross. Hat das Schüren keinen Erfolg, so muss abgeschlackt werden. Bei jedesmaligem Schüren und Abschlacken wird der Luft der freie Zutritt zum Feuerraum ermöglicht, was mit einer Abkühlung verknüpft ist. Damit die schädliche Einwirkung des Öffnens der Feuertüren nicht zu gross wird, ist die Arbeit des Schürens und Abschlackens möglichst schnell auszuführen und in möglichst grossen Zeitintervallen vorzunehmen. Vor allem ist während dieser Zeit die Zugwirkung durch Schliessen des Schiebers zu vermindern.

Die Ausnutzung des Brennmaterials erfolgt am rationellsten, wenn die frischen Kohlen möglichst gleichmässig und kontinuierlich in dünner Schicht über den Rost gestreut werden. Diese kontinuierliche Beschickung fällt bei der Handfeuerung selbstverständlich fort, und die Beschickung kann nur

1) Vgl. Hdb. VII, 1, S. 126.

periodisch erfolgen, doch ist auch hier darauf zu sehen, dass die Kohle möglichst gestreut wird, was aber schnell erfolgen muss, um die Feuertüren nicht unnötig lange offen zu halten. Ebenso falsch wäre es aber, zwecks Verminderung des zu häufigen Öffnens der Feuertüren die Kohlen in langen Pausen und dann in grossen Mengen auf den Rost zu werfen, da die in erheblicher Menge auf das in Glut befindliche Brennmaterial frisch aufgeworfenen Kohlen das Feuer zu sehr abkühlen und den ganzen Verbrennungsprozess unterbrechen würden, bis sie selbst soweit angewärmt wären, um in Brand zu kommen.

Zu Anfang der Verbrennung findet die Austreibung der flüchtigen Bestandteile, wie namentlich der Kohlenwasserstoffe, in erheblicher Menge statt, welche zu ihrer vollkommenen Verbrennung erhöhten Luftzutritt erheischen. Zur Deckung dieses erhöhten Luftbedarfes ist kurz nach dem Aufwerfen der Schieber mehr zu öffnen. Die Zuführung frischer Verbrennungsluft an der Feuerbrücke bietet zu dieser Zeit grosse Vorteile.[1])

Damit besonders bei Stückkohle das in erheblicher Menge frisch eingebrachte Brennmaterial keine zu nachteilige Wirkung ausübt, empfiehlt es sich, die glühende Kohlenschicht nicht gleichzeitig über die ganze Rostfläche gleichmässig mit frischem Material zu bedecken, sondern absatzweise, was beim Vorhandensein mehrerer Feuertüren ja ohnehin schon bedingt wird. Es mischen sich in diesem Falle die Destillationsprodukte des frisch aufgebrachten Brennmaterials mit den intensiv heissen Feuergasen der in vollkommener Glut befindlichen Schicht, was die vollkommene Verbrennung äusserst günstig beeinflusst.

Aus diesem Grunde ist es zweckmässig, gasreiche Kohlen bei Kesseln mit nur einer Feuerung nicht gleichmässig über die glühenden Kohlen auszubreiten, sondern am Anfang der Feuerung hinzulegen, damit ein Schwelen der Kohlen eintritt, und die Zersetzungsprodukte über die Glut hinziehen und hier zur Verbrennung gelangen. Erst nach erfolgter Austreibung der flüchtigen Bestandteile werden die Kohlen über die Glut verteilt und vollständig verbrannt.

Wie weit man mit der Menge des jeweilig aufzubringenden frischen Brennmaterials gehen darf, wird am sichersten aus der Analyse der Rauchgase[2]) erkannt. Dieselbe bietet überhaupt einen sehr wertvollen Anhalt zur Beurteilung des Heizens.

Die gesamte Menge der zuzuführenden Verbrennungsluft richtet sich naturgemäss nach der Menge und der Art des auf dem Rost befindlichen Brennmaterials. Je stärker der Kessel beansprucht wird, um so mehr Brennmaterial muss für die Zeiteinheit verfeuert werden, also um so grösser muss die Schichthöhe auf dem Rost sein, und um so mehr Verbrennungsluft wird benötigt, bezw. um so stärker ist der Zug einzustellen. Da aber bei hoher Brennmaterialschicht auf dem Rost der Luftwiderstand viel leichter ein gleichmässiger ist, und ausserdem bei starkem Zug ein lebhaftes Feuer mit intensiver Gluthitze entsteht, so ist es sehr leicht, bei voller Inanspruchnahme des Kessels sparsam und vorschriftsmässig zu heizen.

Je mehr die Dampfentnahme zurückgeht, um so mehr muss auch das Feuer reduziert, also die Schichthöhe und der Zug vermindert werden, und um so ungünstiger gestalten sich die Bedingungen für eine hohe Ausnützung

1) Vgl. Hdb. VII, 1, S. 134.
2) Vgl. Hdb. VII, 1, S. 127.

des Brennmaterials. Hat man es mit einem dauernd schwach belasteten Kessel zu tun, so empfiehlt sich unter Umständen eine Verringerung der Rostfläche durch entsprechende Abdeckung eines Teiles des Rostes.

Werden Steinkohlen mittlerer Qualität verfeuert, so gilt der Kessel noch als normal beansprucht, wenn stündlich nicht mehr als 80 kg pro qm Rostfläche verfeuert werden. Bei Verbrennung eines grösseren Quantums gilt der Kessel als forciert.

Die Merkmale des forcierten Betriebes sind gegeben einmal in der durch die übermässige Dampfentwickelung liegenden Gefahr, dass die Berührung der Kesselwandungen mit dem Wasserinhalt zu lange Zeit durch grosse aufsteigende Dampfblasen unterbrochen wird, und an dieser Stelle die Kesselbleche stark erhitzt werden, worunter die Festigkeit des Materials leidet, und Ausbeulungen oder gar Risse entstehen können, sodann in der stärkeren Abnutzung der Feuerstätte durch die Einwirkung der gesteigerten Temperatur und schliesslich in dem Sinken des Nutzeffektes des Kessels. Das letztere wird bedingt durch eine zu grosse Geschwindigkeit der Heizgase, durch welche die Zeitdauer der Einwirkung derselben auf die Heizfläche verkürzt wird, und wodurch es trotz eines einwandfreien Verbrennungsprozesses, also trotz etwa erzielten guten Kohlensäuregehaltes der Rauchgase, unmöglich wird, dass der grösste Teil der Wärme an den Kesselinhalt abgegeben wird, sondern unausgenutzt durch den Schornstein entweicht.

Der einzige Gewinn einer höheren Abgangstemperatur der Rauchgase ist eine gesteigerte Zugwirkung, wodurch die Bedingungen einer vollkommenen Verbrennung des Brennmaterials bei grosser Schütthöhe auf dem Rost gefördert werden.

Durch den Einbau von Dampfüberhitzern und Economisern wird die Grenze der zulässigen normalen Beanspruchung nicht unwesentlich hinausgeschoben, also die Leistungsfähigkeit der Kesselanlage erhöht, da das vom Dampf mitgerissene Wasser im Dampfüberhitzer nachträglich zur Verdampfung gebracht wird, und die im Kessel nicht ausgenutzte Wärme im Economiser Verwertung findet. Dagegen wird die abnorme Beanspruchung der Heizfläche hierdurch nicht beeinflusst; eine solche könnte höchstens durch lebhaftere Wasserzirkulation kompensiert werden.

Will man bei stark wechselndem Betrieb den Gesamtnutzeffekt der Kesselanlage hoch erhalten, so lässt sich in dieser Beziehung viel durch richtige Auswahl des Feuerungsmaterials erreichen. Bedenken wir, dass ein gleichmässiger Luftwiderstand auf der gesamten Rostfläche deshalb erforderlich ist, um zu verhindern, dass an einzelnen Stellen die Luft in grosser Menge durchbricht, und so durch hohen Luftüberschuss den Wirkungsgrad der Feuerungsanlage verschlechtert, so haben wir durch die Wahl einer gleichmässigen Körnung des Brennmaterials (was z. B. durch Aussieben leicht erreicht werden kann) ein Mittel, den Widerstand gleichmässig zu gestalten.

Da eine grobe Körnung mehr freie Zwischenräume lässt und demnach dem Durchtritt der Luft weniger Widerstand entgegensetzt als eine feine Körnung, so wird bei sehr stark angestrengten Kesseln vorteilhaft eine hohe Brennmaterialschicht aus gröberer Körnung verwendet. Dieses Material ist auch besonders da am Platze, wo der Zug knapp ist, da die benötigte Luftmenge mit weniger Zugwirkung durch das Brennmaterial infolge des geringeren Widerstandes hindurchgeführt werden kann.

Umgekehrt wird bei dünner Schicht auf dem Rost ein gleichmässiger Luftwiderstand um so leichter erreicht, je feiner die Körnung ist. Bei schwach belastetem Kessel wird demnach ein sparsames Heizen bei Verwendung feiner Körnung erleichtert.

Einen weiteren Schritt in dieser Richtung kann man dadurch tun, dass man entsprechend der Beanspruchung des Kessels auch die Qualität des Brennmaterials wechselt, indem bei schwacher Belastung den Kohlen minderwertiges Brennmaterial, z. B. Braunkohle, beigemischt wird.

Eine zweckmässige Mischung verschiedener Kohlensorten kann auch noch grossen Einfluss auf den Verbrennungsprozess des Brennmaterials selbst haben und ist da zu empfehlen, wo die Beschaffung hinreichend guter Qualitäten Schwierigkeiten bereitet. Namentlich lässt sich bei richtiger Wahl der Mischkohle ein grosser Einfluss sowohl auf die Rauchentwickelung als auch auf das Fliessen der Schlacke ausüben, beides recht störende Erscheinungen.

Unter den verschiedenen Steinkohlensorten findet man magere und fette, gasarme und gasreiche Kohlen. Die magere Kohle zerspringt durch die Einwirkung der Hitze und bietet der Verbrennungsluft viel Berührungsfläche, während die fette Kohle Neigung zum Zusammenbacken hat und so dem Luftdurchtritt einen grossen Widerstand entgegensetzt.

Eine gasreiche oder langflammige Kohle enthält ausser reinem Kohlenstoff noch Kohlenwasserstoffverbindungen, die bei gasarmen Kohlen nur in geringen Mengen vorhanden sind. Zu den letzteren gehören Anthracit und Koks. Je mehr die Kohle nur aus Kohlenstoff besteht, um so schwerer verbrennt dieselbe, und ein um so grösserer Luftüberschuss ist zur Verbrennung unter dem Dampfkessel erforderlich, dagegen ist die Rauchentwickelung bei diesem Material minimal.

Kohlen mit viel Wasserstoffverbindungen neigen zu starker Rauch- und Russbildung, können dagegen mit geringerem Luftüberschuss verbrannt werden, weil die ausgetriebenen, zu langer Flamme Anlass gebenden Destillationsprodukte der Kohlen bei der wirbelnden Bewegung eine innige Vermischung mit der Luft zulassen, und die chemische Vereinigung mit dem Sauerstoff der Luft erleichtert wird. P. FUCHS [1]) hat die Beziehungen zwischen Wasserstoffgehalt und Rauchentwickelung experimentell ermittelt und gefunden, dass ein Wasserstoffgehalt (in gebundener Form) von 4·55 bis 5·00 % die Rauchstärke 6, ein solcher von 4·2 bis 4·55 % die Rauchstärke 5, 4·03 bis 4·20 % die Rauchstärke 4, ferner 3·90 bis 4·03 % die Rauchstärke 3 und 3·80 bis 3·90 % die Rauchstärke 2 zur Folge hat. Selbstverständlich werden diese Verhältnisse durch Erhöhung des Luftüberschusses unter Verschlechterung des Nutzeffektes der Kesselanlage wesentlich verbessert.

Durch entsprechende Beimischung wasserstoffarmer Kohlen zu stark wasserstoffhaltigem Brennmaterial kann der Gesamtgehalt an Wasserstoff beliebig reduziert werden und demnach auch die Rauchentwickelung ohne gleichzeitige Verschlechterung des Nutzeffektes.

Die grösste Aufmerksamkeit des Heizers erfordert es, wenn bei Störungen im Maschinenbetrieb die Dampfentnahme plötzlich aufhört. Alsdann ist alles daran zu setzen, ein gefährliches Anwachsen der Dampfspannung zu verhindern.

1) Vgl. FUCHS, Die Kontrolle des Dampfkesselbetriebes, S. 24.

In solchen Fällen wird, sofern die Höhe des Wasserstandes es irgend gestattet, etwas lebhafter gespeist, die Einwirkung der strahlenden Wärme durch reichliches Aufwerfen frischer Kohlen herabgedrückt und der Zug stark vermindert. Sollte dieses noch nicht genügenden Erfolg haben, so sind die Feuertüren zu öffnen, so dass ein lebhaftes Durchströmen von Luft und dadurch eine Fortschaffung der überschüssigen Wärme eintritt. Im äussersten Notfalle ist sogar das Feuer aus dem Kessel herauszureissen.

Wird ein Kessel während des Betriebes leck, so dass ein Sinken des Wasserspiegels beobachtet wird, so ist derselbe so schnell wie möglich ausser Betrieb zu setzen. Damit der Wasserspiegel nicht so weit sinkt, dass die Feuergase Teile der Kesselwandung, die vom Wasser unberührt sind, treffen, wird durch lebhaftes Speisen versucht, die Höhe des Wasserspiegels zu halten. Das Feuer ist alsdann zu dämpfen und die Ventile sind zu schliessen, damit nicht etwa der Dampf der Nachbarkessel durch die defekte Stelle des Kessels austritt. Hier leisten Rohrbruchventile ausgezeichnete Dienste.

Je grösser das entstandene Leck ist, um so grösser ist auch die Gefahr einer Explosion, und um so schneller müssen die erforderlichen Massnahmen getroffen werden.

113. Die Instandhaltung der Kessel. Damit die Wärme der Heizgase möglichst vollkommen dem Kesselinhalt zugeführt wird, ist es erforderlich, eine gute Wärmeleitungsfähigkeit der Kesselwandungen zu erhalten. Vermindert wird dieselbe durch jegliche Art von Ablagerungen auf der Heizfläche.

Von aussen wirken die sich am Kessel ansetzende Flugasche und der Russ hindernd, und von innen stehen der Ansatz von Kesselstein und die Ablagerung von Schlamm dem Wärmedurchgang hemmend entgegen. Je nach Bedarf ist daher eine Reinigung in grösseren oder kleineren Zwischenräumen nach Abstellung des Kessels vorzunehmen.

Die Flugasche lässt sich in einfacher Weise mit Hilfe eines Gebläses, wozu meistens direkter Dampf benutzt wird, entfernen, indem ein an die Dampfleitung mit Hilfe eines Schlauches angeschlossenes und mit kleinen Öffnungen versehenes langes Eisenrohr so an den Kesselwandungen entlang geführt wird, dass der austretende Dampf die Ablagerungen trifft und fortbläst.

Schlammablagerungen innerhalb des Kessels werden durch teilweises oder gänzliches Ablassen des Kesselinhaltes eventuell mit nachfolgender Spülung entfernt. Da nicht immer die Zeit zur Verfügung steht, um den Kesselinhalt zuvor ganz kalt werden zu lassen, heisses Wasser jedoch im allgemeinen nicht in die Kanäle und Flussläufe eingeführt werden darf, so erfolgt das Entleeren des Kessels in einen besonderen gemauerten Behälter, das Kesselablassbassin, aus welchem der Wasserinhalt nach erfolgter Abkühlung in den Kanal übergeführt wird. Die Probierhähne und Wasserstandsgläser sind täglich durchzublasen, und die Sicherheitsventile und Speisevorrichtungen auf ihre Gangbarkeit zu revidieren. In grösseren Zwischenräumen sind erforderlichenfalls die Hähne und Ventile nachzuschleifen und alle Dichtungen nachzusehen.

Die meiste Mühe verursacht die Entfernung des Kesselsteines, und es ist daher die Bildung desselben durch entsprechende Zusätze von Chemikalien oder durch vorgängige Reinigung des Speisewassers möglichst zu verhindern.

Grosswasserraumkessel und Oberkessel werden durch Ausklopfen vom Kesselsteinansatz befreit, indem die Kesselwärter den Kessel besteigen und

den Kesselstein mit entsprechenden Werkzeugen losklopfen. Bei Wasserrohrkesseln müssen jedoch Spezialwerkzeuge der Länge nach durch alle Rohre geführt werden, bis der Kesselstein ganz entfernt ist.

In Fig. 114 ist ein Röhrenreiniger der Firma PRETZEL & Co., Berlin, abgebildet, welcher vorzügliche Dienste beim Reinigen der Rohre bietet, sofern der Kesselstein nicht allzu hart ist. PRETZELS deutscher Kesselreiniger besitzt den Vorzug, dass derselbe sich behufs leichterer Einführung in das Rohr vorn selbsttätig zusammenlegt und nach der Einführung in das Rohr sich von selbst auseinander spreizt.

Die Entfernung des Kesselsteinansatzes in den Rohren wird durch einfaches Hin- und Herbewegen des auch wohl unter dem Namen Hechtkopf bekannten Werkzeuges bewirkt. Ist der gebildete Kesselstein sehr hart und haftet derselbe fest an den Rohrwandungen, so müssen kräftigere Werkzeuge zur Anwendung gebracht werden, die als Meissel oder Bohrer wirken. Ausgezeichnete Dienste leistet hierfür der Kesselreiniger Turbina Fig. 115, wie solchen unter anderen die Firma SCHUCHARDT & SCHÜTTE, Berlin, in den Handel gebracht hat.

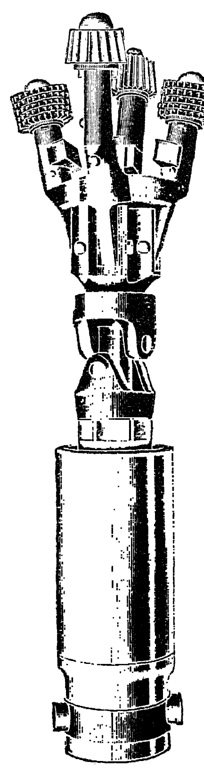


Fig. 115. Turbinenkesselreiniger von SCHUCHARDT & SCHÜTTE, Berlin.

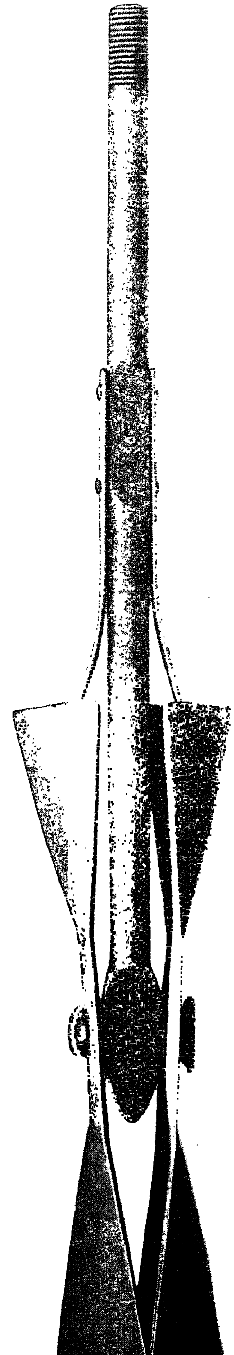


Fig. 114. Kesselrohrreiniger von PRETZEL & Co., Berlin.

Der Betrieb dieses Kesselreinigers erfolgt zweckmässig mittels Druckwassers, welches den weiteren Vorteil bietet, dass der losgeschlagene Kesselstein durch das ablaufende Wasser mit fortgespült wird. Auf bestes Material und richtige Härtung der kleinen Rädchen ist besonderes Gewicht zu legen, da hiervon der Verschleiss äusserst stark beeinflusst wird.

Eine Prüfung, ob der Kesselstein ganz entfernt ist, erfolgt mit Hilfe eines durch das Rohr zu führenden Dornes. Ist der Kesselstein in der gewünschten Weise abgelöst, so wird derselbe durch Wasser aus dem Kessel gespült.

Der Abnutzung leicht unterworfen ist das von Weissgluthitze getroffene Mauerwerk, welches schon der grösseren Haltbarkeit wegen aus Chamottesteinen hergestellt wird. Unter gewöhnlichen Verhältnissen bei normaler Kesselbeanspruchung kann man rechnen, dass das Seitenmauerwerk etwa 2000 Betriebsstunden hält, während die Feuerbögen die doppelte Zeit

aushalten. Auch die Züge erfordern eine periodische Revision und Erneuerung etwa zerbrochener Profilsteine.

Eine sehr wichtige Instandhaltungsarbeit stellt das Verstemmen undicht gewordener Nähte dar, eine Arbeit, die zweckmässig von einem Fachmann ausgeführt wird. Bei Wasserrohrkesseln weisen die einzelnen Rohre an der Verbindungsstelle mit der Wasserkammer leicht Undichtigkeiten auf; diese werden durch einfaches Nachwalzen mit der Rohrwalze (Fig. 116) beseitigt.

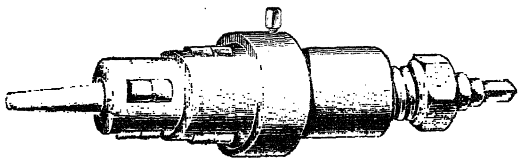


Fig. 116.
Rohrwalze von SCHUCHARDT & SCHÜTTE, Berlin.

Zeigen sich in den Wasserrohren grössere Beulen, welche sich namentlich bei Kesselsteinansatz nach forciertem Betrieb leicht einstellen, so muss das betreffende Rohr ausgewechselt werden. Zu diesem Zwecke wird das aufgewalzte Rohr an der hinteren Wasserkammer mit einem Meissel eingezogen und alsdann nach vorne herausgetrieben.

114. Gesetzliche Vorschriften.

Über die Anlegung von Dampfkesseln sind seitens des Bundesrates auf Grund des § 24 der Gewerbeordnung allgemeine polizeiliche Bestimmungen vom 5. August 1890 erlassen, welche im § 12 vorschreiben: „Wenn Dampfkessel eine Ausbesserung in der Kesselfabrik erfahren haben, oder wenn sie behufs Ausbesserung an der Betriebsstätte ganz blossgelegt worden sind, so müssen sie in gleicher Weise wie neu aufzustellende Kessel der Prüfung mittels Wasserdrucks unterworfen werden.“

Der § 15, welcher von der Kesselmauerung handelt, besagt, dass zwischen dem Mauerwerk, welches den Feuerraum und die Feuerzüge feststehender Dampfkessel einschliesst, und den dasselbe umgebenden Wänden ein Zwischenraum von mindestens acht Centimetern verbleiben muss, welcher oben abgedeckt und an den Enden verschlossen werden darf.

Ausser diesen bundesratlichen Bestimmungen sind auf dem Wege übereinstimmender Anordnungen von den verbündeten Regierungen Bestimmungen über die Genehmigung, Prüfung und Revision der Dampfkessel vom 3. Juli 1890 in Kraft gesetzt, welche in Preussen auch in die Kesselanweisung aufgenommen worden sind.

Die preussische Anweisung betreffend die Genehmigung und Untersuchung der Dampfkessel vom 9. März 1900 vereinigt die Vollzugsbestimmungen über das nach den §§ 24 und 25 der Gewerbeordnung vorgeschriebene Verfahren bei der Genehmigung der Dampfkessel mit den Vorschriften über die periodischen Untersuchungen auf Grund des § 3 des preussischen Gesetzes vom 3. Mai 1872, den Betrieb der Dampfkessel betreffend.

Der angezogene § 3 lautet: Die Besitzer von Dampfkesselanlagen sind verpflichtet, eine amtliche Revision des Betriebes durch Sachverständige zu gestatten, die zur Untersuchung der Kessel benötigten Arbeitskräfte und Vorrichtungen bereit zu stellen und die Kosten der Revision zu tragen. Die näheren Bestimmungen über die Ausführung dieser Vorschrift hat der Minister für Handel und Gewerbe zu erlassen.

Über die regelmässige technische Untersuchung geben die §§ 29 bis 39 der Kesselanweisung näheren Aufschluss. Die wichtigsten Bestimmungen sind, dass jeder zum Betrieb aufgestellte Dampfkessel, er mag unausgesetzt oder nur in bestimmten Zeitabschnitten oder als Reservekessel betrieben

werden, von Zeit zu Zeit einer technischen Untersuchung zu unterziehen ist. Die technische Untersuchung bezweckt die Prüfung der fortdauernden Übereinstimmung der Kesselanlage mit den bestehenden gesetzlichen und polizeilichen Vorschriften und mit dem Inhalt der Genehmigungsurkunde, ihres betriebsfähigen Zustandes, ihrer sachgemässen Wartung, insbesondere der bestimmungsmässigen Benutzung der vorgeschriebenen Sicherheitsvorrichtungen.

Die amtliche Untersuchung des Dampfkessels ist eine äussere oder eine innere oder eine Prüfung durch Wasserdruck. Die äussere Untersuchung findet bei feststehenden Dampfkesseln alle zwei Jahre statt, die innere Untersuchuung alle vier Jahre und die Wasserdruckprobe mindestens alle acht Jahre.

Die äussere Untersuchung besteht vornehmlich in einer Prüfung der ganzen Betriebsweise des Kessels; eine Unterbrechung des Betriebes findet dabei normalerweise nicht statt. Die Betriebseinrichtungen werden der Regel nach durch Ingangsetzen geprüft. Ebenso wird hierbei geprüft, ob der Kesselwärter die zur Sicherheit des Betriebes erforderlichen Vorrichtungen anzuwenden versteht und mit der sachgemässen Behandlung aller Betriebseinrichtungen vertraut ist.

Die innere Untersuchung bezweckt die Prüfung der Beschaffenheit des Kesselkörpers, welcher dabei soweit nötig von innen und aussen durch den Kesselprüfer genau zu besichtigen ist. Zu ihrer Ausführung ist der Betrieb des Kessels so frühzeitig einzustellen, dass der Kessel und die Züge gründlich gereinigt werden können und genügend abgekühlt sind. Die Einmauerung oder Ummantelung ist soweit wie nötig zu entfernen. Wo zwei oder mehr Dampfkessel mit einer gemeinsamen Dampf- oder Speise- oder Wasserablassrohrleitung verbunden sind, ist der zu untersuchende Kessel von jeder der gemeinsamen Rohrleitungen in augenfälliger und wirksamer Weise zu trennen.

Die innere Untersuchung ist vornehmlich zu richten auf die Beschaffenheit der Kesselwandungen, Niete, Anker, Heiz- und Rauchrohre, auf das Vorhandensein und die Natur des Kesselsteines und die Mittel zu seiner Beseitigung, auf den Zustand der Wasserzuleitungsröhren und der Reinigungsöffnungen der Speise- und Dampfventile, der Verbindungsröhren zwischen Kessel und Manometer bezw. Wasserstandsanzeiger, sowie der übrigen Sicherheitsvorrichtungen und der ganzen Feuerungseinrichtung.

Die Wasserdruckprobe bezweckt die Feststellung etwaiger bleibender Formveränderungen und der Dichtigkeit des Kessels. Derselbe ist für undicht zu erachten, wenn das Wasser bei dem höchsten anzuwendenden Probedruck in anderer Form als der von Nebel oder feinen Perlen durch die Fugen dringt.

Für die Ausführung der Druckprobe muss der Kessel vollkommen mit Wasser gefüllt sein; in seinem höchsten Punkte muss eine Öffnung angebracht sein, durch welche beim Füllen die Luft entweichen kann.

Hat eine Untersuchung Mängel ergeben, welche eine unmittelbare Gefahr einschliessen, so hat der Kesselprüfer die Fortsetzung des Betriebes bis zur Beseitigung der Gefahr zu untersagen eventuell durch Vermittlung der zuständigen Ortspolizeibehörde.

Während die äussere Untersuchung ohne vorherige Benachrichtigung des Kesselbesitzers erfolgt, findet eine solche für die innere Untersuchung oder Wasserdruckprobe mindestens vier Wochen vorher statt. Der Zeitpunkt für

diese letzteren Untersuchungen ist so zu wählen, dass der Betrieb der Anlage so wenig wie möglich beeinträchtigt wird.

Der Befund der Untersuchung ist in das Revisionsbuch einzutragen.

Die Kesselprüfungen werden entweder seitens der staatlichen Organe (Gewerbeinspektoren) vorgenommen oder durch staatlicherseits hierzu ermächtigte Ingenieure der anerkannten Dampfkesselüberwachungsvereine im staatlichen Auftrage.

Die Kesselbesitzer sind verpflichtet, von jeder vorkommenden Explosion eines Dampfkessels dem zuständigen Gewerbeinspektor unverzüglich Anzeige zu erstatten.

115. **Die Kesselspeisung.** Damit die Höhe des Wasserstandes im Kessel konstant bleiben kann, muss für Ersatz des verbrauchten Wasserquantums Sorge getragen werden. Es hat sich demnach die Speisung nach der Beanspruchung des Kessels zu richten.

Je mehr die Temperatur des eingeführten Speisewassers hinter derjenigen des Kesselinhaltes zurücksteht, um so mehr Wärme absorbiert dasselbe, und um so mehr wirkt das Speisewasser mit zunehmender Menge reduzierend auf den Dampfdruck ein.

Es ist hierdurch zwar dem Heizer ein Mittel gegeben, bei zu hohem Dampfdruck durch lebhafteres Speisen und bei zurückgegangenem Dampfdruck durch Aussetzung der Kesselspeisung regulierend einzuwirken, jedoch soll normalerweise die Zuführung des Speisewassers möglichst kontinuierlich erfolgen. Dieses ist im Interesse eines gleichförmigen Betriebes um so mehr zu fordern, je grösser der Temperaturunterschied zwischen Speisewasser und Kesselinhalt ist. Ein erfahrener Heizer wird daher den Gang seiner Speisepumpe genau nach der Dampfentnahme regeln.

Da wo automatisch wirkende Wasserstandsregler[1]) vorhanden sind, erübrigt sich naturgemäss die Sorge um die Kesselspeisung, und es ist lediglich durch Beobachtung des Wasserstandes und des Ganges der Speisepumpe eine Kontrolle darüber zu führen, dass diese Apparate nicht unbemerkt aussetzen.

Der grosse Einfluss, welchen die möglichst weitgehende Wiedergewinnung aller im Kessel nicht ausgenutzten Wärme auf die Wirtschaftlichkeit der Betriebsführung dadurch ausübt, dass dieselbe zur Erhöhung der Temperatur des Kesselspeisewassers nachträglich ausgenutzt wird, macht es zur Pflicht eines gewissenhaften Betriebsleiters, sein ständiges Augenmerk hierauf zu lenken und gegebenenfalls durch Aufstellung besonderer Apparate, wie Vorwärmer oder Economiser u. s. w., für deren dauernd betriebsfähigen Zustand Sorge zu tragen ist, den wirtschaftlichen Wirkungsgrad einer Anlage zu verbessern.

116. **Prüfung der Kesselanlage.** Die Kessel sind sowohl erstmalig bei der Abnahme zu prüfen als auch von Zeit zu Zeit im Betriebe, um festzustellen, ob der Nutzeffekt keine unzulässige Verminderung erfahren hat.

Da die Abnahmeprüfung sowohl für den Kessellieferanten als auch für das Elektrizitätswerk von allergrösster Bedeutung ist, so muss dieselbe mit der peinlichsten Genauigkeit unter strengster Beobachtung der hierfür aufgestellten Vorschriften[2]) ausgeführt werden.

1) Vgl. Hdb. VII, 1, S. 135.
2) Vgl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1899.

Um feststellen zu können, ob ein Kessel die garantierte Leistungsfähigkeit besitzt, muss derselbe vor allem in einen tadellosen Zustand gebracht werden, d. h. er muss innen und aussen vollkommen rein, das Mauerwerk dicht und trocken, und die Züge müssen unverletzt sein.

Durch die Abnahmeprüfung soll einmal nachgewiesen werden, wie hoch die Verdampfungszahl ist, d. h. die Anzahl der kg Wasser von 0 Grad Temperatur, die durch 1 kg des verwendeten Brennstoffes von bekanntem Heizwert in trockenen, gesättigten Dampf (von 100° C. umgerechnet) verwandelt werden, und zweitens, wie hoch sich der Wirkungsgrad der Kesselanlage stellt, also wie viel von der im Brennstoff enthaltenen Wärmemenge vom Kesselinhalt aufgenommen worden ist. Durch Division der Heizfläche in die stündlich erzeugte Dampfmenge ergiebt sich die Leistung des Kessels pro qm Heizfläche.

Damit diese für jeden Betrieb äusserst wichtigen Feststellungen auch in einwandfreier Weise vorgenommen werden, ist zunächst ein Vorversuch anzustellen, und im unmittelbaren Anschluss daran zwei Hauptversuche, deren Ergebnisse eine befriedigende Übereinstimmung aufweisen müssen.

Für die Ermittelung des Brennstoffverbrauches ist ein Versuch von mindestens acht- bis zehnstündiger Dauer und für die Feststellung der erzeugten Dampfmenge ein solcher von mindestens 6 bis 8 Stunden zu machen.

Unter Heizfläche ist lediglich die wasserberührte, von den Feuergasen bespülte Aussenfläche zu verstehen.

Der Heizwert des Brennstoffes ist auf den tatsächlichen Zustand des zur Verwendung gekommenen Brennstoffes zu beziehen ohne Abzug von Asche, Feuchtigkeit u. s. w.

Der eigentliche Versuch darf erst beginnen, nachdem der Beharrungszustand eingetreten ist. Der Versuchskessel soll dabei gegen fremde Leitungen abgeflanscht sein.

Die erzeugte Dampfmenge bestimmt sich aus der Menge des zugeführten Speisewassers, dessen Temperatur zu messen ist; dasselbe wird entweder gewogen oder nach Rauminhalt bestimmt. Im letzteren Falle hat eine Korrektion je nach der Temperatur des Wassers stattzufinden, um das richtige Gewicht des gespeisten Wassers zu erhalten.

Um das erzeugte Dampfquantum aus der zugeführten Speisewassermenge richtig ermitteln zu können, ist der Wasserstand am Schlusse des Versuches auf genau die gleiche Höhe bei demselben Druck zu bringen, wie zu Anfang des Versuches. Ferner muss alles Leckwasser an den Garniturteilen aufgefangen und berücksichtigt werden, und vor allem ist festzustellen, ob nicht erhebliche Wassermengen durch den Dampf mitgerissen und dem erzeugten Dampfquantum zugerechnet werden.

Ebenfalls ist sorgfältigst nur derjenige Brennstoffverbrauch durch Wägung zu ermitteln, welcher während des eigentlichen Versuches stattgefunden hat, und auch das Feuer muss am Ende des Versuches in denselben Zustand gebracht werden wie zu Anfang. Das zum Anheizen benötigte Quantum bleibt selbstverständlich ausser Ansatz.

Da auch der Heizwert des Brennmaterials genau zu ermitteln ist, muss eine richtige Durchschnittsprobe des verfeuerten Quantums genommen werden, was dadurch geschieht, dass von jeder Ladung, die vor den Kessel geschafft wird, eine Schaufel voll abgesondert wird. Von dem gesamten entnommenen, unmittelbar nach dem Versuch zerkleinerten und gut gemischten Quantum

wird durch ein ganz bestimmtes legalisiertes Verfahren eine Menge von 10 kg ausgewählt, welche in gut verschlossenen Büchsen zur Untersuchung gelangt. Die Zusammensetzung des Brennstoffes ist durch chemische Analyse zu bestimmen und der Heizwert calorimetrisch zu messen.

Ferner sind bei dem Versuch zu bestimmen die Temperatur des erzeugten Dampfes und der abziehenden Heizgase, letztere an der Stelle, wo sie den Kessel verlassen, sowie die Temperatur der Verbrennungsluft.

Für die Messung derartig hoher Temperaturen, wie sie bei überhitztem Dampf und bei den abziehenden Rauchgasen in Frage kommen, eignet sich in hervorragender Weise ein Quecksilberpyrometer mit Kohlensäurefüllung, bei welchem das von dem glastechnischen Laboratorium Schott und Gen. in Jena komponierte Borosilikat-Thermometerglas Verwendung findet, welches erst bei einer Temperatur von 667⁰ C. derartige Plastizität annimmt, dass unter Druck ein Aufblähen eintritt. Sodann muss eine Analyse der Heizgase in gleichmässigen Zwischenräumen vorgenommen werden, wobei der Gehalt an Kohlensäure, Sauerstoff, Kohlenoxyd und Stickstoff nach Bedarf zu ermitteln ist.

Ein sehr gebräuchlicher und zweckmässiger Apparat für genaue Gasanalysen ist der Orsatapparat (Fig. 117). In der abgebildeten Ausführung von G. A. Schultze, Charlottenburg, enthält derselbe zwei Absorptionsgefässe. Der Apparat wird mit dem Rauchgaskanal verbunden, und es werden periodisch 100 ccm Rauchgas in der Messbürette abgefangen, welche dann in das erste mit Kalilauge gefüllte Absorptionsgefäss gedrückt werden, um zunächst den Kohlensäuregehalt zu bestimmen, den der Apparat in Volumprozenten angiebt. Darauf wird der Gasrest zur Bestimmung des Sauerstoffgehaltes in das zweite, Pyrogallussäurelösung enthaltende Absorptionsgefäss gedrückt und eventuell darnach noch in ein drittes Absorptionsgefäss mit Kupferchlorürlösung zur Bestimmung von Kohlenoxyd.

Im nachfolgenden möge noch kurz die Verarbeitung der an einem Dampfkessel erzielten Untersuchungsergebnisse besprochen werden.

Aus dem ermittelten Wasserverbrauch in kg bei einer mittleren Temperatur von t^0 C. und dem verfeuerten Kohlenquantum ergiebt sich durch Division der kg Kohlen in die kg Wassermenge die pro kg Kohle erzeugte Dampfmenge von p. Atm. und T^0 C. Dampftemperatur. Diese Werte sind umzurechnen auf eine Speisewassertemperatur von 0^0 C. und gesättigten Dampf von 1 Atm. absolut, welchem eine Dampfwärme von 636·72 WE pro kg entspricht.

Kennt man demnach die in dem erzeugten Dampf von p. Atm. mit einer Dampftemperatur von T^0 C. enthaltene Wärmemenge sowie die in dem Speisewasser von mehr als 0^0 C. enthaltene überschüssige Wärme, so findet man die reduzierte Verdampfungsziffer, indem man die Differenz dieser beiden Wärmemengen durch die Zahl 636·72 dividiert.

Da bei den Kesselprüfungen die Dampftemperatur und der Dampfdruck stets genau bestimmt werden, so können die zugehörigen Werte der Dampfwärme aus der Tabelle VII, welche die Zahlenwerte über gesättigte Wasserdämpfe nach Fliegner enthält, entnommen werden. Diese Tabelle giebt in Kolumne 3 die jedem kg Dampf von bestimmtem Druck entsprechende Dampfwärme in Calorien an, während die Kolumne 2 die dem Dampf entsprechende Dampftemperatur aufweist. Ergab die direkte Temperaturmessung des Dampfes höhere Werte, so war der erzeugte Dampf um den überschüssigen Betrag

überhitzt. Im letzteren Falle ist ferner noch diejenige Wärmemenge zu ermitteln, welche dieser Überhitzung entspricht.

Nach Untersuchungen von MALLARD und CHATELIER[1]) ändert sich die spezifische Wärme des Dampfes mit der Temperatur. Es ergiebt sich z. B. eine spezifische Dampfwärme für die Temperaturen 200 und 400° C. von 0·4935 bezw. 0·5663. Die zwischenliegenden Werte lassen sich durch Interpolation leicht ermitteln.

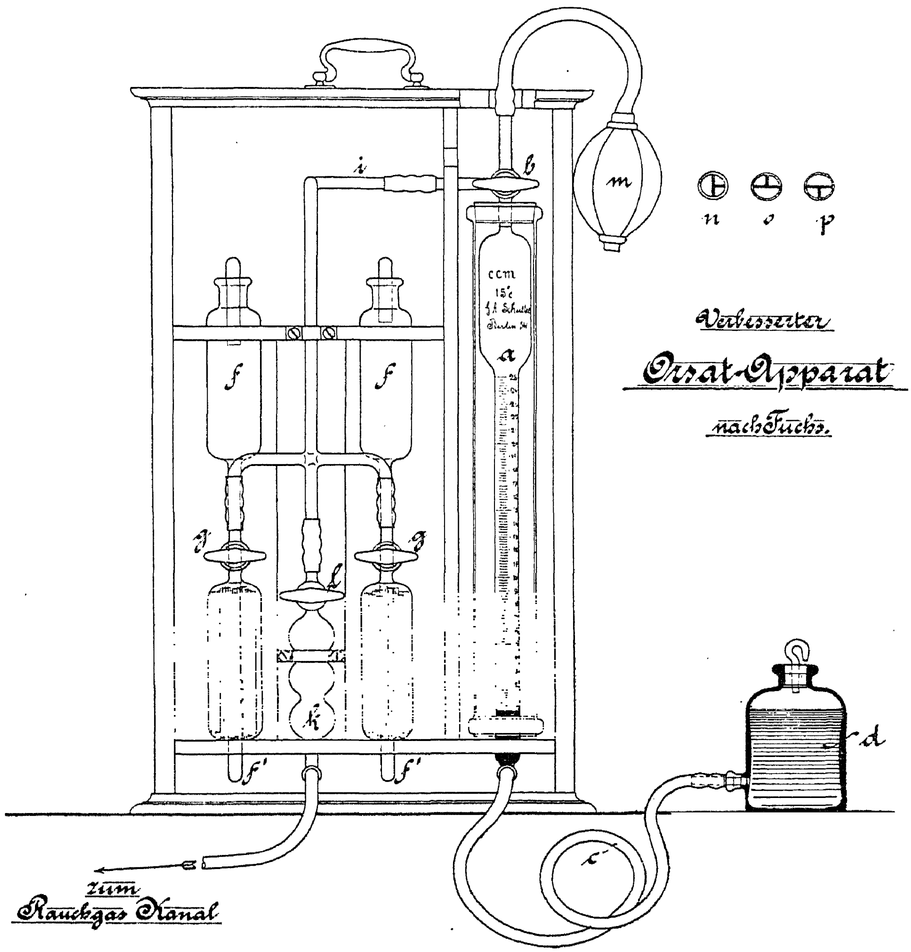


Fig. 117. Orsat-Apparat von G. A. SCHULTZE, Charlottenburg.

Ist die totale, im erzeugten Dampf enthaltene Wärmemenge auf diese Weise bestimmt, so muss noch die im Speisewasser enthaltene Wärmemenge ermittelt und abgesetzt werden. Für die meisten Zwecke genügt es, wenn für jedes Kilogramm Wasser und jeden Temperaturgrad über Null eine Calorie eingesetzt wird. In Wirklichkeit ist dieser Wert etwas zu gering, doch ist der Fehler nicht sehr bedeutend, da der Unterschied der spezifischen Wärme des Wassers zwischen Null und 80° C. noch nicht ganz ein Prozent

1) Vgl. P. FUCHS, Die Kontrolle des Dampfkesselbetriebes, S. 12.

ausmacht, weshalb nur für ganz exakte Messungen hierauf Rücksicht genommen zu werden braucht.

Zur Erläuterung möge noch ein Beispiel angeführt werden. Bei einem Versuch betrug die während 7 Stunden und 15 Minuten verdampfte Wassermenge 16690 kg bei einer mittleren Speisewassertemperatur von 20° C. Der erzeugte Dampf von 12·5 Atmosphären Überdruck zeigte eine Dampftemperatur von 250° C., während sich das totale verfeuerte Kohlenquantum auf 2722 kg stellte.

Tabelle VII.

Gesättigte Wasserdämpfe nach Fliegner.

Dampfdruck in Atm. absol. kg/cm²	Dampftemperatur °C.	Gesamtwärme in Cal.	Volumen von 1 kg in cbm	Gewicht von 1 cbm in kg
1	99·09	636·72	1·702	0·587
1·5	110·76	640·28	1·162	0·860
2	119·57	642·97	0·887	1·128
2·5	126·73	645·15	0·719	1·391
3	132·80	647·00	0·605	1·650
3·5	138·10	648·62	0·524	1·908
4	142·82	650·06	0·462	2·163
4·5	147·09	651·36	0·414	2·415
5	150·99	652·55	0·375	2·667
5·5	154·59	653·65	0·343	2·916
6	157·94	654·67	0·316	3·164
6·5	161·08	655·63	0·293	3·410
7	164·03	656·53	0·274	3·656
7·5	166·82	657·38	0·256	3·901
8	169·46	658·19	0·241	4·144
8·5	171·98	658·95	0·228	4·387
9	174·38	659·69	0·216	4·629
9·5	176·68	660·39	0·205	4·870
10	178·89	661·06	0·196	5·109
10·5	181·01	661·71	0·187	5·349
11	183·05	662·33	0·179	5·589
11·5	185·03	662·93	0·172	5·826
12	186·94	663·52	0·165	6·063
12·5	188·78	664·08	0·159	6·300
13	190·57	664·63	0·153	6·534
13·5	192·31	665·16	0·148	6·773
14	194·00	665·67	0·143	7·006

Aus Tabelle VII ergiebt sich für 13·5 Atm. abs. eine Dampftemperatur für gesättigten Dampf von 192·31° C. und eine Dampfwärme von 665·16 Cal. Die Dampfüberhitzung war demnach

$$250 - 192{\cdot}31 = 57{\cdot}69^0 \text{ C.}$$

Die totale, im erzeugten Dampf enthaltene Wärmemenge bestimmt sich zu:

$$16690 \cdot (665{\cdot}16 + 57{\cdot}69 \cdot 0{\cdot}5117) = 16690 \cdot 694{\cdot}68 \text{ Cal.}$$

Zieht man hiervon die im Speisewasser enthaltene Wärme ab und dividiert

die gefundene Zahl durch 636·72 und durch das verfeuerte Kohlenquantum, so ergiebt sich als Verdampfungsziffer:

$$\frac{16\,690\,(694{\cdot}68 - 20{\cdot}024)}{636{\cdot}72 \cdot 2722} = 6{\cdot}49 \text{ kg.}$$

Das auf gesättigten Dampf von 1 kg/cm² reduzierte, im Kessel erzeugte Dampfgewicht stellt sich auf 17671 kg. Da die Heizfläche des Wasserrohrkessels, mit dem der Versuch vorgenommen wurde, 200 m² betrug, und die Rostfläche 4·5 m², so ergiebt sich eine Leistung des Kessels pro Quadratmeter Heizfläche und Stunde von

$$\frac{17\,671}{7{\cdot}25 \cdot 200} = 12{\cdot}2 \text{ kg/m}^2$$

und die Rostbeanspruchung pro m² und Stunde zu:

$$\frac{2722}{4{\cdot}5 \cdot 7{\cdot}25} = 83{\cdot}43 \text{ kg.}$$

Nach Ermittelung dieser Werte ist zur vollständigen Beurteilung des Kessels noch der Wirkungsgrad desselben auszurechnen, wozu der Heizwert des Brennmaterials bekannt sein muss. Bei dem vorliegenden Versuche wurde ein Brennstoff von 6024 WE verfeuert, es stellt sich demnach der Wirkungsgrad auf:

$$\frac{16\,690 \cdot 674{\cdot}146}{2722 \cdot 6024} = 68{\cdot}62\,^0/_0.$$

Die Ursache dieses geringen Wertes wurde in dem gasarmen Brennstoff gefunden, welcher nur mit sehr hohem Luftüberschuss verfeuert werden konnte, was sich aus der Rauchgasanalyse deutlich ergab.

Wie schon eingangs erwähnt, ist darauf acht zu geben, dass vom Dampf nicht Wasser aus dem Kessel mitgerissen und der Leistung desselben zugerechnet wird. Zum Mitreissen von Wasser neigt jeder stark beanspruchte Kessel, insbesondere jedoch Wasserrohrkessel.

Die Nachweisung einer höheren Temperatur des erzeugten Dampfes als dem gesättigten Dampfe entspricht, ist durchaus kein Beweis dafür, dass mitgerissenes Wasser in der Rohrleitung nicht vorhanden ist; denn das mitgerissene Wasser braucht nicht nur eine gewisse Zeit, um sich in Dampf verwandeln zu können, sondern es kommt dabei auch noch die Berührungsfläche zwischen dem strömenden Dampfe und dem mitgeführten Wasser, sowie der Temperaturunterschied in Betracht, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Rohrwandung jedenfalls eine geringere Temperatur aufweist als der Dampf, was der nachträglichen Verdampfung des Wassers hindernd im Wege steht.

Dass Wasser mitgerissen ist, kann mit Sicherheit behauptet werden, wenn die Kondenstöpfe und Wasserabscheider aussergewöhnlich grosse Mengen Kondenswasser liefern, besonders wenn dieses stossweise erfolgt, da Überreissen von Wasser bei normalem Wasserstande im Kessel nur zeitweilig auftritt.

Eine direkte Nachweisung, dass Wasser mitgerissen wurde, ist dadurch mit Erfolg versucht worden, dass man dem Kesselinhalt vor dem Beginn des Versuches eine bestimmte Menge Salz (Kochsalz oder Soda) beigemischt hat. War Wasser in erheblichen Mengen mitgerissen worden, so zeigt der

Schema für eine Kohlenuntersuchung durch Verdampfungsversuche

Versuchskessel No. .... mit .... m^2 Rostfläche und .... m^2 Heizfläche

Versuch No.	Datum	Nähere Bezeichnung der Kohle	Preis pro Tonne M.	Äussere Beschaffenheit der Kohle	Heizwert Cal.	Versuchsdauer Std.	Kohlenverbrauch total kg	Kohlenverbrauch pro m^2 Rostfläche und Std. kg	Speisewasserverbrauch total kg	Speisewasserverbrauch pro m^2 Heizfläche und Std. kg	Speisewasserverbrauch Temperatur °C.	Kohlensäuregehalt der Rauchgase %	Temperatur der abziehenden Gase °C.	Dampfdruck in Atm.	Verdampfungsziffer red. -fach	Rauchstärke	Dauer der Abschlackperiode Std.	Aschen- und Schlackengehalt in %	Stand des Differenzzugmessers mm	Chemische Analyse Ergebnis
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				

Kesselinhalt am Schluss des Versuches eine geringere Konzentration, woraus sich das mitgerissene Wasserquantum berechnen lässt.

Dasjenige Brennmaterial ist für das Elektrizitätswerk das vorteilhafteste, mit welchem sich die erzeugte Dampfmenge am billigsten herstellen lässt, wobei sowohl die Transportkosten des Brennmaterials und die Heizerlöhne zu berücksichtigen sind, als auch die Kosten für Entfernung der Herdrückstände und für Reparaturen der Feuerungsanlage. **117.** Prüfung des Brennmaterials.

Die beste Methode der Prüfung des Brennmaterials, wobei alle diese Momente zur Auswertung gelangen, ist die Bestimmung der Verdampfungsziffer an einem für solche Versuche bereit gestellten normalen Kessel.

Der Gang der Untersuchung wird möglichst genau so innegehalten, wie bei den Abnahmeversuchen. Natürlich ist die Dampfentnahme und die sorgfältige Wartung des Feuers bei allen zum Vergleiche herangezogenen Versuchen möglichst gleichartig zu gestalten. Höchstens dürfen Rücksichten auf die Rauchverminderung dazu führen, mit wesentlich verändertem Luftüberschuss zu arbeiten.

Bei der endgültigen Beurteilung des Brennmaterialwertes ist sowohl die erforderliche Zeitdauer für die Abschlackperioden als auch der Gehalt an Rückständen sowie die Rauchstärke in Rücksicht zu ziehen.

Der grosse Einfluss, welchen der Feuchtigkeitsgehalt des Brennstoffes auf das Ergebnis ausübt, bedingt unter Umständen ein vorgängiges natürliches Trocknen, sofern im normalen Betrieb das Brennmaterial ebenfalls Gelegenheit hat, einen Teil des Feuchtigkeitsgehaltes abzugeben.

Der mit einem Versuchskessel erzeugte Dampf wird in die gemeinsame Hauptdampfleitung geführt, dagegen ist die Speiseeinrichtung separat anzuordnen, damit das gespeiste Wasserquantum und die Speisewassertemperatur genau ermittelt werden können.

In welcher Weise zweckmässig die Untersuchungsergebnisse an verschiedenen Kohlensorten gesammelt und zur Verarbeitung zusammengestellt werden, zeigt das beistehende Schema, dem besondere Erläuterungen wohl nicht beigegeben zu werden brauchen.

b) Die Kontrolle des Dampfmaschinenbetriebes.

Die Aufgabe des Dampfmaschinenwärters ist es, das rechtzeitige Anlassen und Abstellen der Maschine zu bewirken und alle Massnahmen zu treffen, um den Betrieb störungsfrei zu erhalten. **118.** Wartung der Dampfmaschinen.

Beim Anlassen der Dampfmaschine ist das vorgängige Anwärmen der Maschine, das Austreiben des Kondenswassers und das Anstellen der Schmiervorrichtungen zu beachten.

Während des Betriebes sind Manometer, Vakuummeter und Tachometer, sowie bei Verwendung überhitzten Dampfes auch das Thermometer im Auge zu halten. Über den guten Zustand der Lager und Gleitbahnen ist durch häufiges Befühlen eine Kontrolle zu führen.

Die Möglichkeit von Störungen im Dampfmaschinenbetrieb ist mannigfaltig.

Dem Warmlaufen der Lager und Gleitflächen kann, wenn es rechtzeitig bemerkt wird, durch erhöhte Zufuhr frischen Öles begegnet werden, vorteilhaft wird hierzu, je nach dem Grad des Warmgehens, ein konsistenteres Öl

verwendet. Der Zusatz von reinem, bestem Flockengraphit zum Öl leistet in solchen Fällen hervorragende Dienste. Ist die Erhitzung der Reibungsflächen bereits zu weit vorgeschritten, so ist möglichst schnelle Abstellung bezw. Umschaltung auf die Reservemaschine das einzig Richtige, um etwaigen Zerstörungen der Maschinenteile vorzubeugen.

Treten in der Maschine Wasserschläge auf, welche leicht Brüche des Zylinders und Kolbens im Gefolge haben können, so ist durch Öffnen der Entwässerungshähne dem Wasser der natürliche Ausweg zu erleichtern, auch sind alsdann die Kondenstöpfe an der Maschine und Dampfleitung zu revidieren.

Unter Umständen hat durch Überspeisen oder durch plötzliche Belastungszunahme ein Überreissen von Wasser aus dem Kessel stattgefunden. Neigt der Kessel im letzteren Falle hierzu, so sind eventuell die Entwässerungsvorrichtungen an der Dampfleitung zu vermehren.

Grosse Unzuträglichkeiten bieten sich im Maschinenbetriebe, wenn das Vakuum plötzlich abfällt, was seinen Grund stets im Wassermangel der Kondensationsanlage hat. Verursacht kann der letztere durch Defektwerden der Pumpe oder Kondensleitung sein, oder es hatte sich in der Rohrleitung Luft angesammelt und die Wassersäule zum Abreissen gebracht. Bei langen Kondensleitungen oder bei Heberleitungen wird deshalb die Einfügung einer Entlüftungsvorrichtung (Windkessel mit Ejektor) geboten. Um beim Versagen des Vakuums den Betrieb mit der betreffenden Maschine weiterführen zu können, sind vielfach Umschalteinrichtungen für Auspuff vorgesehen, welche alsdann zu betätigen sind. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der Dampfverbrauch der Dampfmaschine bei Auspuffbetrieb um ca. 30—40 $^0/_0$ steigt.

Manchmal bietet im Maschinenbetrieb die Konstanterhaltung der Tourenzahl Schwierigkeiten; die Ursache kann entweder Neigung des Regulators zum Pendeln sein, was durch das Nachregulieren der Klemmenspannung noch verschlimmert wird, oder es schliessen bei zu geringer Belastung die Einströmungsorgane nicht genügend ab und lassen eine zu grosse Füllung zu, was eine entsprechende Steigerung der Tourenzahl zur Folge hat. In beiden Fällen ist eine Drosselung des eintretenden Dampfes das einfachste Mittel, diesem Übelstande zu begegnen. Sobald jedoch die Belastung alsdann ansteigt, muss das Einlassventil sofort mehr geöffnet werden, um ein Abfallen der Tourenzahl zu verhindern.

Bedeutende Verluste können durch Undichtigkeiten der Kolben, Ventile, Schieber, Dampfmäntel u. s. w. eintreten, weshalb dieselben von Zeit zu Zeit einer Prüfung zu unterziehen sind. Die Untersuchung dieser Teile wird im betriebswarmen Zustande vorgenommen, indem dieselben bei festgelegtem Schwungrade unter normalen Dampfdruck gesetzt werden, während an der entgegengesetzten Seite beobachtet wird, ob und in welcher Weise Dampf durchtritt. Kommt derselbe hier in anderer Form als in der von feinem Nebel oder Wasserperlen zum Vorschein, so gelten die betreffenden Dichtungsflächen für undicht, und es ist für Abhilfe Sorge zu tragen.

Die Bedienung der Kondensationsanlage von Dampfmaschinen erfährt vielfach insofern eine etwas stiefmütterliche Behandlung, als sich die Wartung der Pumpen häufig lediglich auf Ersatz defekt gewordener Pumpenklappen und eine gelegentliche Reinigung der Pumpen beschränkt. Die Gesichtspunkte für die vorteilhafteste Ausnutzung der Kondensationsanlage dagegen werden häufig ganz ausser acht gelassen.

Was zunächst den Kraftbedarf der Kondensationsanlage anbetrifft, so ist derselbe annähernd proportional der beförderten Wassermenge. Die zum Niederschlagen des aus dem Niederdruckzylinder entlassenen Dampfes benötigte Wassermenge ist jedoch von der Temperatur des Einspritzwassers und der Grösse des Dampfquantums, also von der Belastung der Dampfmaschine abhängig.

Diese Abhängigkeit wird in anschaulicher Weise durch Fig. 118 erläutert, worin das Vielfache des niederzuschlagenden Dampfes an Einspritzwasser in Abhängigkeit von der Temperatur t_0 des letzteren und von der

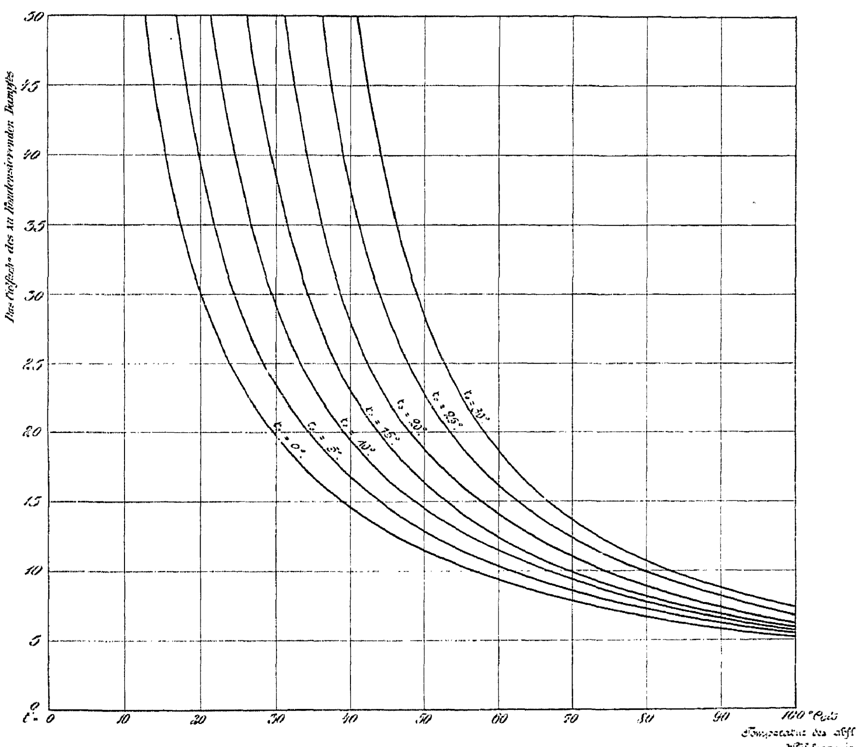


Fig. 118.
Abhängigkeit der Temperatur des abfliessenden Kondenswassers vom Kondenswasserverbrauch.

Wärme des abfliessenden Wassers t' graphisch aufgetragen ist. Es ergiebt sich daraus z. B., dass man das 18fache Gewicht des gleichzeitig zu kondensierenden Dampfes bei einer Kühlwassertemperatur von 20° C. benötigt, wenn das Kühlwasser im Kondensator sich dabei auf 50° C. erwärmen darf.

Ein weiterer sehr einflussreicher Punkt ist die Erreichung eines hohen Vakuums, denn je vollkommener dasselbe ist, um so günstiger stellt sich die Ausnutzung der Dampfenergie. Es ist jedoch darauf acht zu geben, dass der Arbeitsaufwand zur Erlangung eines hohen Vakuums nicht etwa grösser ausfällt als der erzielte Gewinn an Dampfarbeit.

Die Beziehungen zwischen dem Kondenswasserverbrauch bei einer Kühlwassertemperatur von 20° C. und der Höhe des erzielten Vakuums der Dampfmaschine zeigt Fig. 119. Als Abscisse ist das Vielfache des zu konden-

sierenden Dampfes an Kühlwasser und als Ordinate das erzielte Vakuum in Atm. absol. sowie die erzielte Dampfersparnis durch Kondensation in Prozenten gegenüber dem Dampfverbrauch bei Maschinen ohne Kondensation aufgetragen.

119. Kontrollmessungen an Dampfmaschinen.[1] Die wichtigste Messung an Dampfmaschinen ist die Nachweisung des Dampfverbrauches für die Leistungseinheit. Eine Kontrolle des Dampfverbrauches ist aus dem Grunde von Zeit zu Zeit, mindestens alle Vierteljahre, zu wiederholen, weil selbst durch geringe Abnutzung oder Veränderung der betreffenden Organe grosse Änderungen im Dampfverbrauch eintreten können.

Dasjenige Instrument, welches Aufschluss über diese Frage und insbesondere über den Zustand der Steuerungsorgane giebt, ist der Indikator (Fig. 120). Derselbe zeichnet auf einem mit dem Kolben in zwangläufige Verbindung gebrachten Papierstreifen den Verlauf des Dampfdruckes innerhalb des Zylinders mit fortschreitendem Kolben auf. Aus dem Verlauf dieses Druckes hat man gelernt, auf den ordnungsmässigen Zustand der Steuerungs-

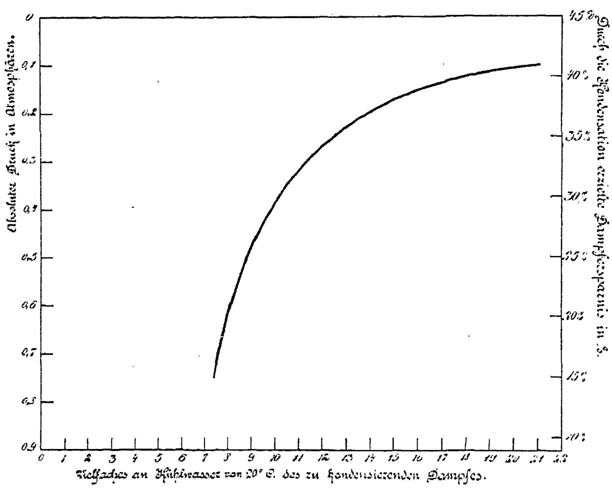


Fig. 119.
Höhe des Vakuums in Abhängigkeit vom Kondenswasserverbrauch.

organe zu schliessen, sowie aus der Grösse der umschriebenen Fläche bezw. aus dem Mittelwert der Dampfspannung im Arbeitszylinder die Grösse der Leistung der Dampfmaschine zu berechnen.

Aus dem Flächeninhalt des Diagramms wird unter Berücksichtigung des Indikatorfedermassstabes der mittlere Dampfdruck durch Division mit der Länge des Diagramms ermittelt. Die bequemste Art den Flächeninhalt zu bestimmen, ist die mit Hilfe eines Planimeters (Fig. 121). In Ermangelung eines solchen Instrumentes kann der mittlere Dampfdruck auch dadurch bestimmt werden, dass die ganze Fläche in viele einzelne gleich breite Abschnitte geteilt wird, deren Höhen addiert werden. Die mittlere Höhe erhält man alsdann durch Division der Anzahl der Abschnitte in die gefundene Höhensumme.

Eine einwandsfreie Methode einer solchen Berechnung ist die, bei der das Diagramm durch elf Ordinaten, a_0 bis a_{10}, im Abstande von 0·1 der

1) Vgl. Normen für Leistungsversuche an Dampfkesseln und Dampfmaschinen des Vereins Deutscher Ingenieure, 1899.

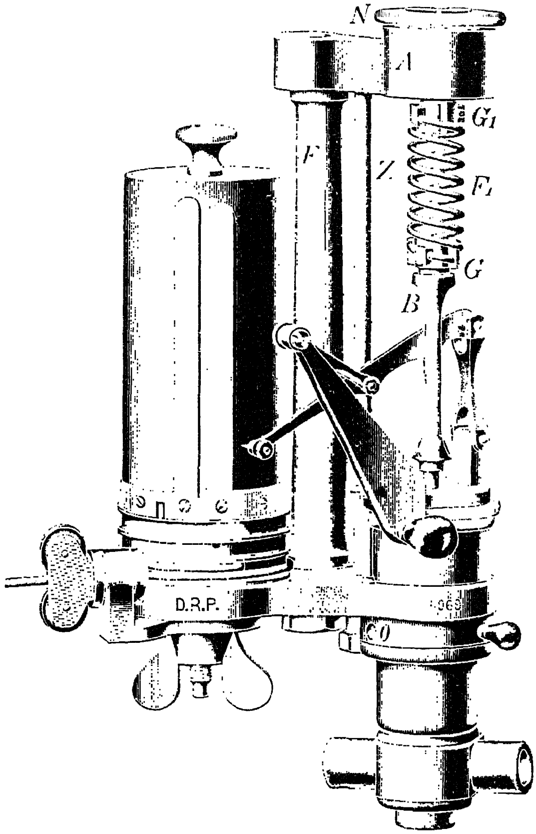


Fig. 120. Indikator von DREYER, ROSENKRANZ & DROOP, Hannover.

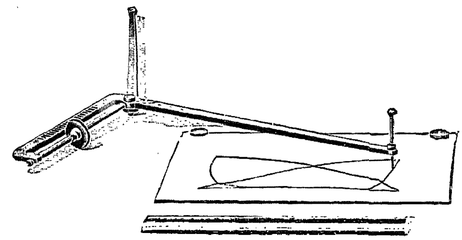


Fig. 121. Schneidenrad-Planimeter von J. FIEGUTH, Wilhelmshaven.

Diagrammlänge eingeteilt wird, wobei die erste und letzte Ordinate vom Rande nur ein Viertel der Teilung entfernt ist (Fig. 122). Jede Ordinate stellt die Mittellinie eines Trapezes dar und der Mittelwert der Diagrammhöhe berechnet sich zu:

$$a_m = 0{\cdot}1 \left(\frac{a_0}{2} + a_1 + a_2 + \cdots a_9 + \frac{a_{10}}{2} \right).$$

Aus diesem Mittelwert findet man die mittlere Dampfspannung im Zylinder durch Division mit dem Federmassstabe. Entsprechen z. B. bei der verwendeten Feder 6 mm 1 kg, und wurden die Ordinaten in Millimetern gemessen, so war der mittlere Dampfüberdruck

$$p = \frac{a_m}{6} \text{ kg/cm}^2.$$

Hat man den mittleren Dampfdruck für das vorliegende Diagramm bestimmt, so berechnet sich alsdann die indizierte Leistung der Dampfmaschine aus der sekundlichen Kolbengeschwindigkeit v, der wirksamen Kolbenfläche F und dem mittleren Dampfdruck p nach der Formel:

$$N_i = \frac{F \cdot p \cdot v}{75} \text{ PS i.}$$

Die Bestimmung der Kolbenleistung wird sowohl auf der Vorder- als Hinterseite des Zylinders vorgenommen, und aus beiden Messungen der Mittelwert bestimmt. Bei Mehrzylindermaschinen giebt die Summe aller Kolbenleistungen die indizierte Leistung der Dampfmaschine. Die effektive

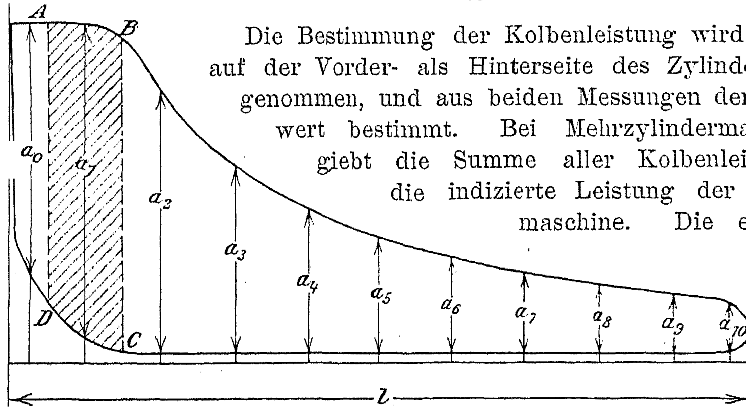


Fig. 122.

Leistung der Dampfmaschine findet man in einfacher Weise, wenn man die sich aus dem Leerlaufsdiagramm ergebende Leerlaufsarbeit von der indizierten Leistung in Abzug bringt.

Die grosse Bedeutung, welche die richtige Bestimmung des aus dem aufgezeichneten Diagramm zu entnehmenden mittleren Dampfdruckes für das Ergebnis der Untersuchung der Dampfmaschine besitzt, macht es zur Pflicht, vor jeder wichtigen Messung, insbesondere bei Abnahmeprüfungen, eine Eichung der Indikatorfeder vorzunehmen. Hierzu sind besondere Einrichtungen konstruiert, welche gestatten, den ganzen Indikator im warmen Zustande zu prüfen, sofern die Indikatorfeder nicht wie bei dem Apparat

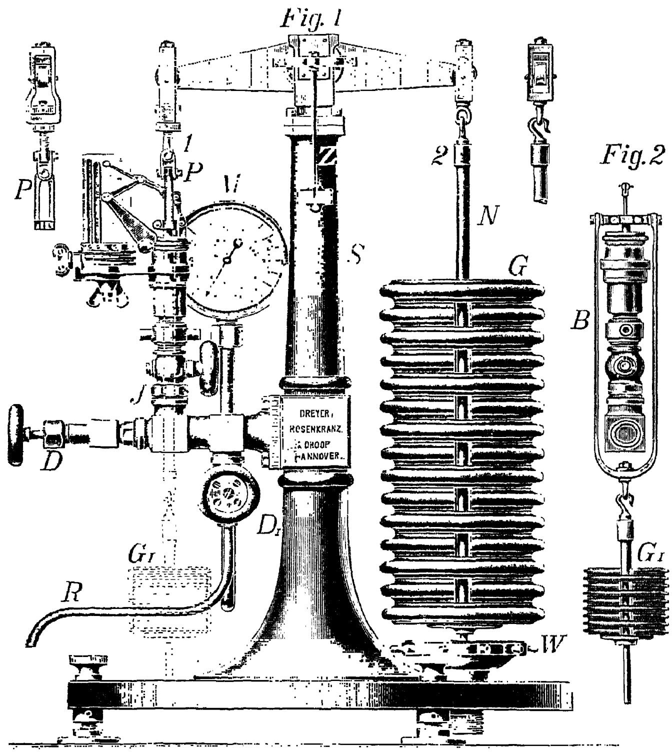


Fig. 123. Indikatorfeder-Prüfapparat von Dreyer, Rosenkranz & Droop, Hannover.

Fig. 120 aussen liegt. Aber auch bei aussen, also kühl liegender Kolbenfeder ist eine Prüfung geboten, und es zeigt Fig. 123 einen für diese Art Federn bestimmten Feder-Prüfungsapparat der Firma Dreyer, Rosenkranz & Droop, Hannover. Ein Apparat zur Untersuchung der Indikatorfedern im warmen Zustande besteht aus einem kleinen Kessel mit Wasserstand und Manometer, welcher durch Gas geheizt werden kann, und der Regel nach eine Drucksteigerung bis 20 Atm. verträgt.

Durch Vergleichung der Manometerangaben mit den Ausschlägen des Schreibstiftes am Indikator wird die Prüfung bewirkt, und aus den Einzelwerten der Messungen der mittlere Feder-Massstab berechnet. Für äusserst exakte Messungen der Dampfmaschinenleistung werden sogar die geringen Proportionalitätsfehler der Indikatorfeder dadurch bei der Auswertung des

Diagramms berücksichtigt, dass der genaue Massstab auf das Diagramm aufgetragen wird, indem parallele Linien zur atmosphärischen Linie in dem ermittelten Abstande aufgetragen werden und bei der Flächenbestimmung mit dem Planimeter Berücksichtigung finden.

Bevor der Indikator zur Vornahme des Versuches an der Dampfmaschine angebracht wird, ist die Hubverminderungsvorrichtung nachzusehen, und alle Rohrleitungen zum Indikatoranschluss sind sorgfältigst auszublasen.

Nach Anbringung des Indikators, dessen Feder der herrschenden Dampfspannung angepasst sein muss, wird die Verbindungsschnur so gespannt, dass die Papiertrommel weder am Anfang noch am Ende anstösst.

Ist der Indikator angewärmt, und etwaiges Kondenswasser abgeblasen, so kann mit der Diagrammaufnahme begonnen werden. Zunächst wird die atm. Linie nach entsprechender Einstellung des Dreiwegehahnes gezogen, indem der Stift leicht gegen den auf der Trommel befestigten Papierstreifen gedrückt wird. Alsdann ist der Hahn umzustellen, und der Stift wiederum etwa während dreier Umdrehungen gegen die Papiertrommel zu führen.

Auf jedem Diagramm wird die Zeit der Aufnahme und die Stelle der Dampfmaschine, an welcher dasselbe aufgenommen worden ist, vermerkt. Ausserdem pflegt man darauf den Federmassstab und die zur Ausrechnung erforderlichen Daten der Dampfmaschine ebenfalls zu vermerken.

Um aus dem aufgezeichneten Diagramm etwaige Fehler der Dampfmaschine herauslesen zu können, bedarf es sehr vieler Erfahrung, und eine erschöpfende Behandlung dieses Gegenstandes würde weit über den Rahmen des vorliegenden Werkes hinausgehen. Wir müssen uns daher darauf beschränken die theoretisch richtige Form des Diagrammes darzulegen, und es dem Einzelnen überlassen, bei vorkommenden Abweichungen der aufgenommenen Diagramme einen Maschineningenieur zu Rate zu ziehen.

Der Verlauf des Vorganges im Zylinder umfasst erstens die Periode des Dampfeintrittes, zweitens die Expansionsperiode des Dampfes bis zu einer bestimmten Endspannung bei abgesperrter Eintrittsöffnung, drittens die Periode des Dampfaustrittes bezw. der Kondensation und viertens die Kompressionsperiode.

Je länger die Periode des Dampfeintrittes währt, um so grösser ist die Füllung, und um so grösser ist die vom Schreibstift umschriebene Diagrammfläche.

Bei einem theoretisch richtigen Diagramm soll der Verlauf der Expansion wie der Kompression nach ganz bestimmten Gesetzen erfolgen, und die Beurteilung des tadellosen Zustandes der Dampfmaschine aus dem aufgenommenen Diagramm wird in erster Linie durch Prüfung des gesetzmässigen Verlaufes dieser beiden Kurven bewirkt.

Damit ein möglichst stossfreier Gang der Maschine gewährleistet wird, soll die Kompression[1]) bis zur Admissionsspannung getrieben werden, in welchem Falle die schädlichen Räume sich nicht mit Frischdampf füllen.

Das Gesetz der Expansionskurve des Dampfes im Zylinder während eines Hubes wird im allgemeinen durch die Gleichung $p \cdot v^n = C$ ausgedrückt, wobei p den absoluten Dampfdruck und v das Volumen des Dampfes bedeutet, und in welcher der Wert n von der besonderen Beschaffenheit des Dampfes abhängig ist. Ist z. B. der Dampf bei seinem Eintritt in den Zylinder gerade

1) Vgl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1905, S. 797.

trocken gesättigt, enthält derselbe also kein mitgerissenes Wasser, und wirkt die Mantelheizung so gut, dass während der Expansion ein Niederschlagen des Dampfes nicht stattfindet, so expandiert der Dampf nach der Kurve konstanten Dampfgewichtes, für welche n den Wert 1·0646 annimmt.

Ist der Admissionsdampf feucht, so findet während der Expansion durch die Mantelheizung ein Aufdampfen des mitgerissenen Wassers statt. Da gesättigter Dampf stets auch mitgerissenes Wasser enthält, so expandiert dieser bei richtig funktionierender Mantelheizung nicht nach der Kurve konstanten Dampfgewichtes, sondern, wie die Erfahrung lehrt, angenähert nach der gleichseitigen Hyperbel, für welche $n = 1$ ist. Diese Kurve liegt oberhalb der Kurve für konstantes Dampfgewicht.

Die theoretisch günstigste Expansionskurve ist die Adiabate, bei welcher zu der im Arbeitsdampf zu Anfang der Expansion enthaltenen Wärme weder von aussen etwas zugeführt, noch durch Strahlung nach aussen etwas abgegeben wird, sondern die ganze frei werdende Wärme nur in Arbeit umgesetzt wird. Für Dampf ist bei adiabatischer Expansion der Wert von $n = 1·333$ im Gegensatze zu den Gasen, für welche bei adiabatischer Expansion $n = 1·41$ wird. Hoch überhitzter Dampf von etwa 300° C. Anfangstemperatur expandiert bei einer guten Maschine angenähert nach der Adiabate. Diese Kurve fällt rasch ab und liegt unterhalb der Kurve für konstantes Dampfgewicht.

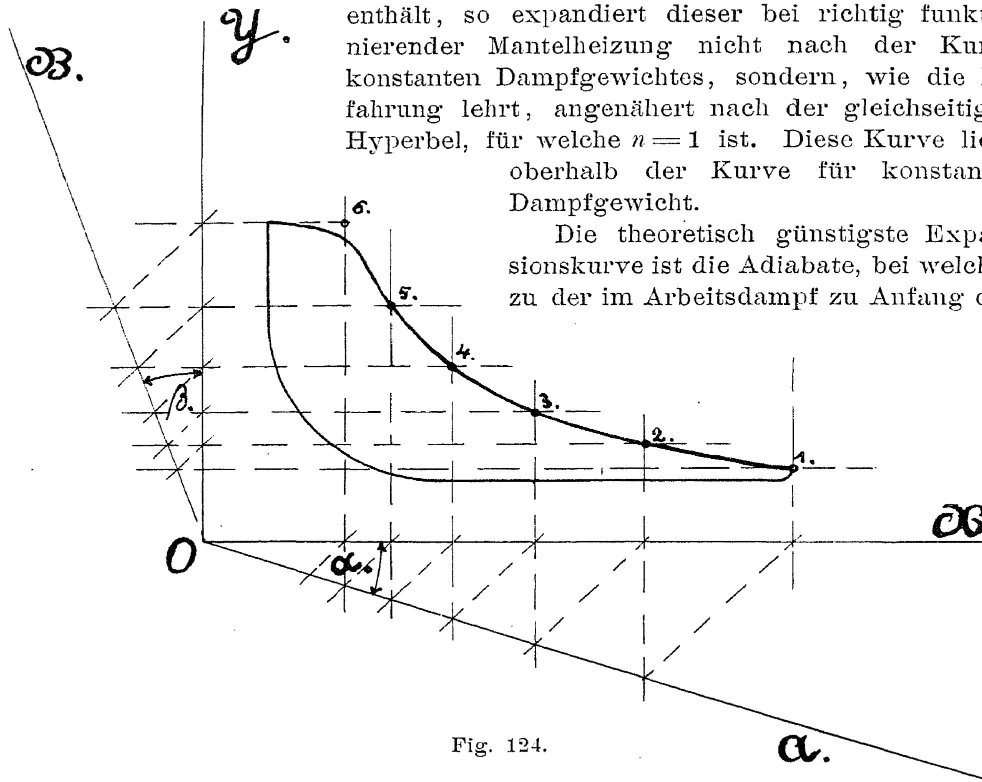


Fig. 124.

Nach E. Brauer[1]) wird auf graphischem Wege in einfacher Weise eine Prüfung des an der Maschine erhaltenen Diagrammes daraufhin vorgenommen, ob die aufgezeichneten Kurven den richtigen Verlauf aufweisen, indem unter einem beliebigen Winkel α zur atmosphärischen Linie als X-Achse die Strecke $O\,A$ gezogen wird (Fig. 124), wonach die Strecke $O\,B$ unter einem Winkel β zur Y-Achse gezogen wird, der nach der Gleichung $(1 + \operatorname{tg} \beta) = (1 + \operatorname{tg} \alpha)^n$ zu berechnen ist. — Nachdem diese Hilfslinien gezeichnet sind, ziehe man von einem Punkte (1) der Expansionskurve je eine Senkrechte auf die X- und

1) Vgl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1885, S. 433.

Y-Achse. Von diesen Schnittpunkten wird unter 45° zur X- und Y-Achse je eine Linie bis zum Schnittpunkte mit OA und OB gezogen, durch diese Schnittpunkte wiederum je eine Parallele zur X- und Y-Achse und abwechselnd so fort, wie es die Fig. 124 zeigt. Hat die Expansionslinie einen richtigen Verlauf, so müssen die parallel zu den beiden Achsen gezogenen Hilfslinien in der Expansionskurve ihren Schnittpunkt finden.

In derselben Weise wird verfahren, um den einwandsfreien Verlauf der Kompressionskurve zu kontrollieren.

Tabelle VIII.

Versuchsergebnisse.

		Bei überhitztem Dampf	Bei trockenem, gesättigtem Dampf
Datum des Versuchstages		30. XI. 00	6. XII. 00
Dauer des Versuches	Std.	7^h 0′	6^h 21′
Speisewasserverbrauch pro Stunde	kg	10311·4	13179
Verfeuerte Kohlenmenge total	kg	12021	10267
Kohlenverbrauch pro Stunde	kg	1715	1617
Mittlere Dampfspannung im Kessel	Atm.	13·3	13·7
Dampftemperatur hinter dem Überhitzer	°C.	343	221·9
Mittlere Dampfspannung vor der Maschine	Atm.	12·25	12·5
Dampftemperatur vor der Maschine	°C.	316·1	201·1
Überhitzung vor der Maschine	°C.	124·65	8·8
Mittlere Umdrehungszahl pro Minute		83·02	83·91
Leistung im Hochdruckzylinder	PS i.	1138·67	960·92
Leistung im Mitteldruckzylinder	PS i.	602·86	600·70
Leistung im Niederdruckzylinder I	PS i.	383·56	470·39
Leistung im Niederdruckzylinder II	PS i.	416·78	516·15
Gesamtleistung	PS i.	2541·87	2548·16
Indizierte Leerlaufsarbeit	PS i.	266·3	266·3
Daraus berechneter Nutzeffekt	%	89·5	89·5
Dampfverbrauch pro PS i. und Stunde	kg	4·05	5·17
Völligkeitsgrad der rankinisierten Diagramme		70·2	66·5
Länge der Dampfleitung	m	39	39
Temperaturgefälle vom Kessel bis zur Maschine	°C.	27	20·8
Temperaturgefälle vom Kessel bis zur Maschine pro m Rohr	°C.	0·7	0·53

Zur besseren Übersicht über den Gang der Untersuchung des Dampfverbrauches an Dampfmaschinen sind in Tabelle VIII die Versuchsresultate an einer 3000 PS Dreifach-Expansionsmaschine mit Dampfüberhitzung tabellarisch zusammengestellt und durch die Wiedergabe eines Satzes der zugehörigen Diagrammaufnahmen (Fig. 125 bis 132) vervollständigt. Um den Einfluss der Dampfüberhitzung zu veranschaulichen, sind den Resultaten mit überhitztem Dampf noch diejenigen mit gesättigtem Dampf gegenübergestellt.

Bei Mehrfach-Expansionsmaschinen ist es gebräuchlich und auch angezeigt, zur besseren Kontrolle der Vorgänge in der Dampfmaschine eine Umzeichnung der aufgenommenen Diagramme nach einem von Rankine angegebenen Verfahren vorzunehmen. Dieses geschieht dadurch, dass man die Diagramm-

längen auf gleiche Basis bringt und dann diejenige für den Niederdruckzylinder im Verhältnis des Volumens des Niederdruckzylinders zu dem des

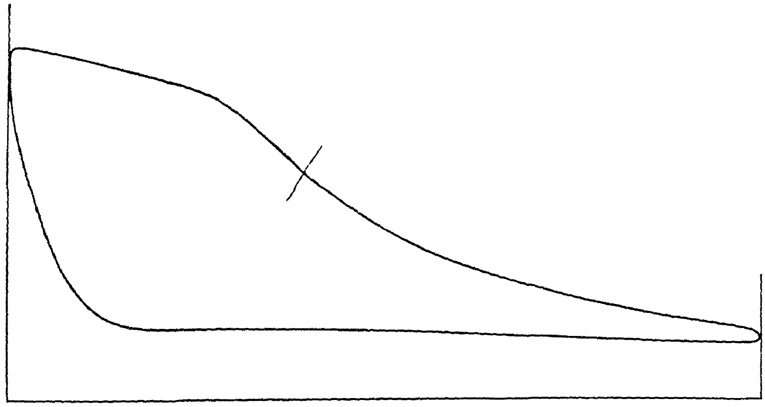


Fig. 125. No. 3, Hochdruck-Zylinder vorne.
4 mm = 1 kg. Mittlere Höhe = 16·02 mm. 30. XI. 00, 9 h 15'.

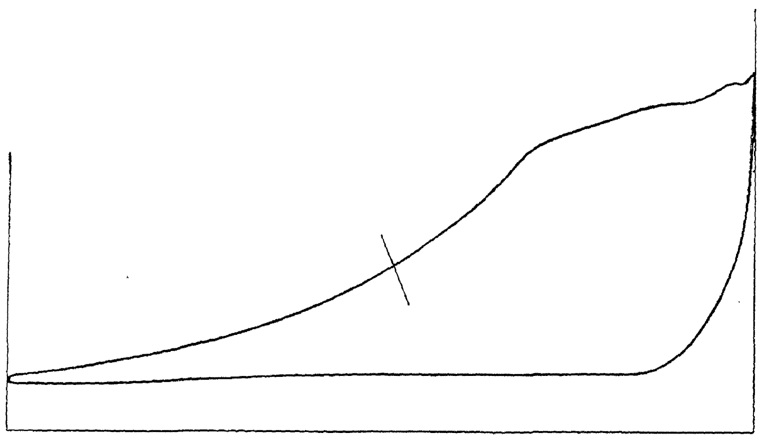


Fig. 126. No. 3, Hochdruck-Zylinder hinten.
4 mm = 1 kg. Mittlere Höhe = 15·96 mm. 30. XI. 00, 9 h 15'

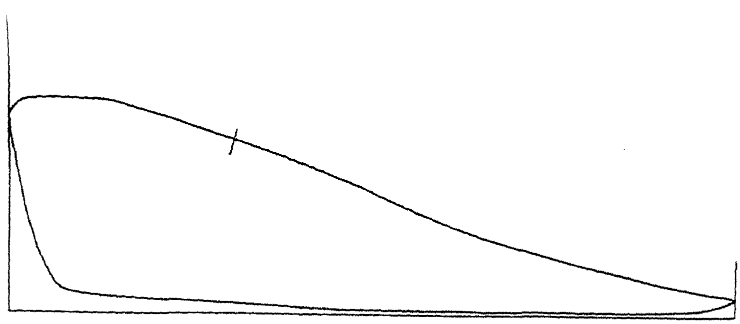


Fig. 127. No. 3, Mitteldruck-Zylinder vorne.
14·8 mm = 1 kg. Mittlere Höhe 14·52 mm. 30. XI. 00, 9 h 15'.

Hochdruckzylinders vergrössert und die Ordinaten der Kurven auf gleichen Federmassstab, nämlich den des Niederdruckzylinders, bringt.

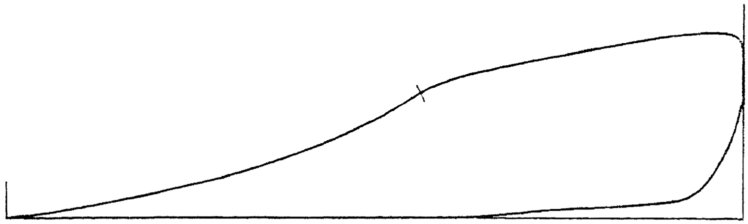


Fig. 128. No. 3, Mitteldruck-Zylinder hinten.
14·8 mm = 1 kg. Mittlere Höhe = 11·88 mm. 30. XI. 00, 9h 15'.

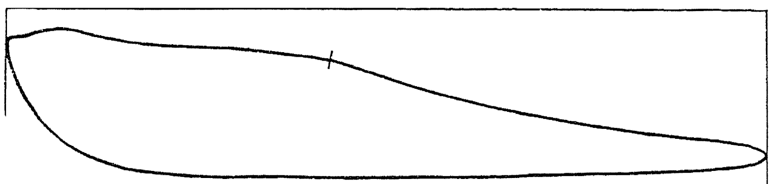


Fig. 129. No. 3, Niederdruck-Zylinder I vorne.
25·5 mm = 1 kg. Mittlere Höhe = 10·98 mm. 30. XI. 00, 9h 15'.

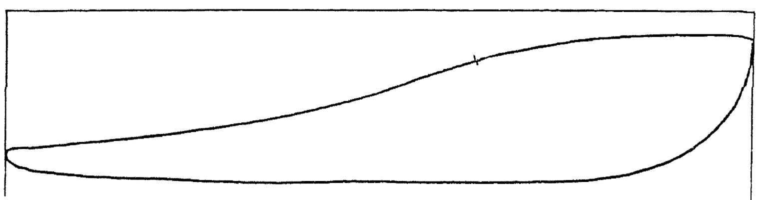


Fig. 130. No. 3, Niederdruck-Zylinder I hinten.
25·5 mm = 1 kg. Mittlere Höhe = 11·1 mm. 30. XI. 00, 9h 15'.

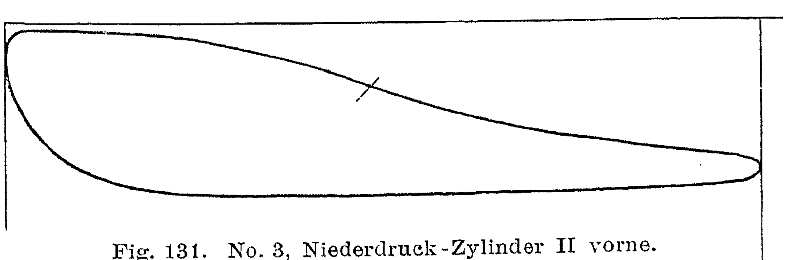


Fig. 131. No. 3, Niederdruck-Zylinder II vorne.
25·5 mm = 1 kg. Mittlere Höhe = 12·54 mm. 30. XI. 00, 9h 15'.

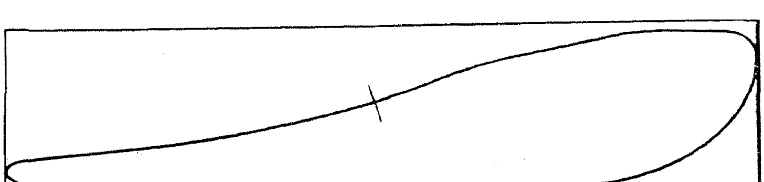


Fig. 132. No. 3, Niederdruck-Zylinder II hinten.
25·5 mm = 1 kg. Mittlere Höhe = 11·58 mm. 30. XI. CO, 9h 15'.

Zum Rankinisieren werden stets nur diejenigen Diagrammaufnahmen verarbeitet, welche zur gleichen Dampffüllung gehören, d. h. also die Diagramme des Hoch- und Niederdruckzylinders von derjenigen Seite, welche der Dampf unmittelbar hintereinander passiert hat.

Aus den so umgezeichneten Dampfdiagrammen wird die Summe der Flächeninhalte durch die theoretisch richtige Fläche dividiert, welche Zahl man mit Völligkeitsgrad bezeichnet. Je grösser der Völligkeitsgrad ist, um so vorteilhafter und besser arbeitet die Dampfmaschine. Zum Studium dieses Verfahrens muss auf Spezialwerke verwiesen werden.

Da die an den Dampfmaschinen aufgenommenen Diagramme uns ausser über den Zustand der Steuerungsorgane nur noch Aufschluss über den mittleren Dampfdruck und die daraus berechnete Leistung der Dampfmaschine geben, während die Grösse des Dampfverbrauches daraus nicht zu entnehmen ist, so muss der Dampfverbrauch auf andere Weise bestimmt werden.

Die Ermittelung des Dampfverbrauches kann dadurch erfolgen, dass, genau wie bei der Prüfung von Dampfkesseln angegeben, das Speisewasser während der Versuchsdauer bestimmt wird, nur muss alles Kondenswasser aus den Rohrleitungen aufgefangen und von dem ermittelten Werte in Abzug gebracht werden. Das innerhalb der Maschine (Zwischenbehälter, Mantel u. s. w.) niedergeschlagene Wasser gehört dagegen zum Verbrauch der Maschine. Für die Dauer des Versuches gelten dieselben Regeln, wie für die Prüfung der Kessel angegeben.

In äusserst einfacher Weise kann beim Vorhandensein einer Oberflächenkondensation der Dampfverbrauch durch das Gewicht des niedergeschlagenen Dampfes festgestellt werden. In diesem Falle genügen für die Ermittelung des Dampfverbrauches wenige Stunden, sofern die Anlage sich im übrigen im Beharrungszustande befindet.

Bei jedem Leistungsversuche sind Dampfspannung, Belastung der Maschine und Überhitzungstemperatur auf gleichmässiger Höhe zu erhalten, und die Werte durch fortlaufende Aufzeichnungen in Zwischenräumen von etwa 10 bis 20 Minuten zu kontrollieren. Ebenso werden Aufzeichnungen vorgenommen über die Spannung in den Zwischenbehältern, im Ausströmungsrohr unmittelbar hinter dem Dampfzylinder und im Kondensator. Ausserdem ist die Temperatur des Einspritz- oder Kühlwassers sowie des ausfliessenden Kondensationswassers zu vermerken. Gebotenenfalls ist der Barometerstand mehrmals zu verzeichnen und, falls ein Gradierwerk benutzt wird, die Temperatur und der Feuchtigkeitsgehalt der Luft.

120. Ölprüfung. Den Schmierölen fällt die wichtige Aufgabe zu, das Gleiten der Flächen aufeinander ohne erhebliche Kraftverluste, und ohne dass die Flächen angegriffen werden, zu ermöglichen. Dieser Aufgabe sind dieselben infolge ihrer Eigenschaft der Schlüpfrigkeit gewachsen, welche darauf beruht, dass die Öle eine grosse Adhäsionskraft und geringen inneren Reibungswiderstand besitzen und demzufolge in die feinsten Poren der Körper eindringen.

Ausserdem setzen die Öle der direkten Berührung zweier aufeinander liegender, mit Öl benetzter Flächen einen erheblichen Widerstand entgegen. Dieser Widerstand gegen die Verdrängung ist um so grösser, je konsistenter, d. h. je dickflüssiger das Öl ist. Da aber jedes Öl mit steigender Temperatur dünnflüssiger wird, so ist diese Widerstandskraft gegen Verdrängung eine Funktion der Temperatur. Ausserdem spielt die Dauer der Einwirkung hierbei noch eine grosse Rolle.

Lässt man nun zwei mit Öl behaftete Flächen aneinander vorbeigleiten, so findet das Gleiten zwischen den Ölteilchen selbst statt, weil die Adhäsionskraft grösser ist als die Kohäsion. Dieses Gleiten geht wegen des geringen Reibungswiderstandes unter äusserst geringem Kraftaufwand vor sich.

Der innere Reibungswiderstand des Öles nimmt mit steigender Temperatur, also mit abnehmender Konsistenz anfangs schnell ab, hält sich dann eine Zeit lang auf dem gleichen Wert und zeigt in den meisten Fällen bei weiterer Temperatursteigerung ein geringes Wiederansteigen.

Wird die Erhitzung soweit getrieben, dass eine Zersetzung oder Verkohlung einzelner Ölpartikelchen eintritt, so steigt die Lagertemperatur rapide an, weil die festen, verkohlten Ölteile keine Schmierfähigkeit besitzen, auch die Widerstandskraft des Öles gegen Verdrängung soweit vermindert ist, dass Metall auf Metall zum Schleifen kommt, und ein Fressen oder Brennen des Lagers die Folge ist.

Da die Anforderungen der Praxis an das Schmieröl sehr verschieden sind, und sowohl der Lagerdruck als auch die Temperatur der Gleitflächen äusserst starke Unterschiede aufweisen, so ist es Aufgabe einer sachgemässen Ölprüfung, diejenige Sorte unter den vielen angebotenen auszuwählen, welche für die vorliegenden Bedingungen die günstigsten Eigenschaften besitzt.

Die in Frage kommenden Eigenschaften sind kurz zusammengefasst folgende:

1. Adhäsionskraft,
2. Grad der Konsistenz bei gegebener Temperatur,
3. innerer Reibungswiderstand bei gegebener Temperatur,
4. Beständigkeit bei höheren Temperaturen und
5. chemische Reinheit.

Die Adhäsion ist bei allen Ölen hinreichend gross, so dass von einer Prüfung dieser Eigenschaft meistens abgesehen wird.

Der Forderung einer hinreichenden Konsistenz ist namentlich da grosse Aufmerksamkeit zu schenken, wo es sich um höhere Lagerdrücke handelt, wo also das Öl einen bestimmten Mindestwiderstand gegen Verdrängung aufweisen soll, wie es z. B. in Elektrizitätswerken vorwiegend gefordert wird. Die Untersuchung der Konsistenz hat selbstverständlich bei der Temperatur stattzufinden, bei welcher das Öl benutzt werden soll.

Der innere Reibungswiderstand des Öles gewinnt um so mehr an Bedeutung, je zahlreicher die zu schmierenden Stellen sind, und je geringer der Lagerdruck ist, also z. B. bei ausgedehnten Transmissionsanlagen zum Betrieb vieler, nur wenig Energie absorbierender Maschinen, weil hier eine geringe Erhöhung des Reibungswiderstandes an jeder Gleitfläche von einschneidender Bedeutung auf den Gesamtkraftverbrauch der Anlage und damit auf die Wirtschaftlichkeit des ganzen Betriebes ist.

Die Beständigkeit bei höheren Temperaturen wird gewöhnlich aus dem Flammpunkt geschlossen, der mindestens 30—50° C. höher liegen soll, als die höchste vorkommende Temperatur. Hält man z. B. gewisse minderwertige Ölsorten längere Zeit auf dieser Temperatur, so nimmt man häufig Veränderungen der Farbe wahr, welche auf teilweise Zersetzung und Verkohlung einzelner Ölpartikelchen zurückzuführen sind. Solche Öle sind entschieden zu verwerfen.

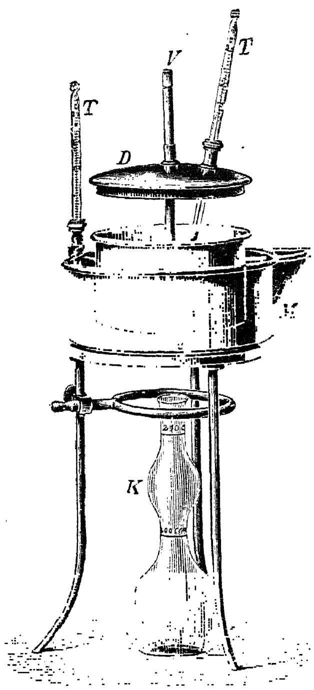


Fig. 133.
Viskosimeter nach Engler von P. Altmann, Berlin.

Die Methoden, welche zur Prüfung der charakteristischen Eigenschaften der Schmieröle angegeben worden sind, sind sehr mannigfaltig, und es sollen hier nur einige wenige kurz erwähnt werden.

Um den Grad der Konsistenz zu bestimmen, bedient man sich vielfach des Viskosimeters nach Engler, wie solches z. B. die Fig. 133 in der Ausführung von P. Altmann, Berlin, zeigt. Die Messung erfolgt in der Weise, dass die Ausflussgeschwindigkeit aus einer engen Röhre von bestimmten Abmessungen bei verschiedenen Temperaturen bestimmt wird. Als vergleichendes Mass dient die bei Wasser erzielte Ausflussgeschwindigkeit. Je längere Zeit ein gegebenes Flüssigkeitsquantum zum Durchfliessen braucht, um so grösser ist die Viskosität bezw. die Konsistenz.

Ein anderer vom Verfasser angegebener Apparat, D. R. P. 139741, gestattet in bequemerer Weise gleichzeitig die Abhängigkeit der Konsistenz und des inneren Reibungswiderstandes von der Temperatur zu bestimmen, zwei Eigenschaften der Öle, die nahe miteinander verwandt sind.

In Fig. 134, welche das Prinzip des Apparates erkennen lässt, stellt K eine geschlossene Kammer dar, die mit dem zu prüfenden Schmiermittel angefüllt ist; in der Kammer bewegt sich das Flügelrad F, dessen Antriebsachse durch eine Stopfbuchse aus der Kammer heraustritt. An die Flüssigkeitskammer K sind zwei Steigrohre $R R_1$ angeschlossen, in denen ungefähr bis zur Hälfte ihrer Höhe das Schmiermittel steht, so dass die beiden Steigrohre durch die Kammer K kommunizierende Röhren bilden. Wird das Flügelrad in Bewegung gesetzt, so zwingt es das Schmieröl in der Kammer, an der Bewegung teilzunehmen, und es findet zwischen dem bewegten Teil der Flüssigkeit in der Kammer und dem in den Steigrohren in Ruhe befindlichen Teil des Schmieröles eine gegenseitige Reibung statt. Der auftretende Reibungswiderstand bewirkt in dem einen Steigrohr ein Steigen und in dem anderen ein Sinken der Flüssigkeitssäule, sofern wie bei dem vorliegenden Apparat dafür Sorge getragen wird, dass an der Reibungsstelle eine Wirbelbildung in der bewegten Flüssigkeit verhindert ist.

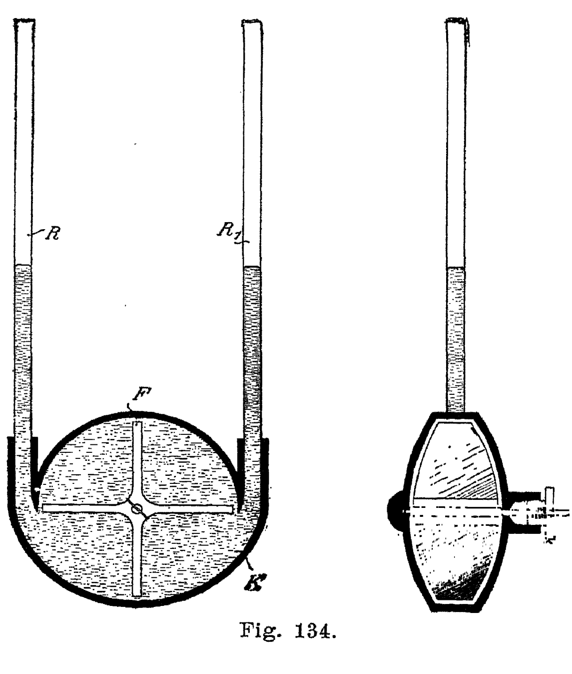


Fig. 134.

Der Unterschied im Höhenstand beider Flüssigkeitssäulen giebt unter Berücksichtigung des spezifischen Gewichtes und der Geschwindigkeiten für die betreffende Temperatur ein Mass für den inneren Reibungswiderstand des Schmieröles. Es wird der innere Reibungswiderstand also gewissermassen durch einen abgegrenzten Teil der Flüssigkeitssäule abgewogen.

In Fig. 135 und 136 ist der Apparat abgebildet, mittels dessen verschiedene Schmieröle nach dem oben beschriebenen Verfahren untersucht werden können. Im Vordergrunde sieht man die Kammer mit den beiden Steigrohren. Diese ist noch von einem grösseren Gefäss umgeben, das als heizbares Bad dient, um die Schmiermittel bei verschiedenen Temperaturen prüfen zu können. An die aus der Kammer austretende Welle ist ein kleiner Elektromotor gekuppelt, der das Flügelrad in Bewegung setzt. Zur Erhöhung der Gleichmässigkeit des Betriebes ist auf die Welle noch ein kleines Schwungrad aufgesetzt. Der Elektromotor gestattet eine Veränderung der Umdrehungsgeschwindigkeit in weiten Grenzen, um die Abhängigkeit des Reibungswiderstandes von der Geschwindigkeit in bequemster Art feststellen zu können. Ferner gestattet das Bad, in das die Ölkammer eingebettet ist, durch elektrische oder eine andere Art der Heizung die Untersuchung der Öle bei verschiedenen Temperaturen vorzunehmen.

Füllt man den Apparat der Reihe nach mit immer konsistenteren Ölen, so wird auch der Kraftbedarf des Motors für gleiche Umdrehungszahlen des Flügelrades immer mehr zunehmen, und es ist demnach möglich, aus dem Unterschied im Kraftverbrauch auf die Konsistenz zu schliessen. Im allgemeinen wird die Grösse der Konsistenz bis zu einer Temperatur von etwa 50° C. mit einer für die Praxis hinreichenden Genauigkeit aus dem Höhenunterschied der Flüssigkeitssäulen in den Steigrohren mit bestimmt, doch bietet der Verlauf des Kraftbedarfes ein willkommenes Mittel der Kontrolle.

Trägt man die bei allmählich ansteigender Temperatur und konstanter Geschwindigkeit des Flügelrades gewonnenen Angaben des Apparates in Form von Kurven auf, so kann man aus deren Verlauf und aus ihrer Lage alle notwendigen Schlüsse auf die Eigenschaften der Schmieröle leicht ziehen. Hierzu wird man sehr schnell befähigt, wenn man zunächst die Untersuchung an bekannten, in der Praxis bereits ausprobierten Ölen vornimmt, die Untersuchungsergebnisse aufträgt und nun vergleicht, wie sich die Kurve des unbekannten Öles zu derjenigen des bekannten Öles verhält.

Da alle im Handel vorkommenden Öle Gemische verschiedener Ölsorten sind, die einzelnen Arten jedoch in ihren Eigenschaften vielfach erhebliche Unterschiede aufweisen, und einzelne derselben namentlich bei höheren Temperaturen oder grossen Umfangsgeschwindigkeiten vorzeitig versagen, so ist ausser der vorzüglichen Raffinierung der Öle noch hoher Wert auf ein einwandsfreies Gemisch derselben zu legen, worauf gewissenhafte Ölfabrikanten stets ihr besonderes Augenmerk lenken.

Auch über die fehlerhafte Zusammensetzung der Öle gestattet der eben beschriebene Ölprüfungsapparat Aufschluss zu geben, indem bei mangelhaft zusammengesetzten Ölen ein baldiges erhebliches Anwachsen des inneren Reibungswiderstandes mit steigender Temperatur bei konstanter Geschwindigkeit beobachtet wird.

Diese Merkmale kommen auch in erster Linie bei der Prüfung von Zylinderölen in Betracht. Bei einer Temperatur von mehr als 80° C. zeigt bereits jedes Öl, selbst das dickflüssigste, eine derartige Dünnflüssigkeit,

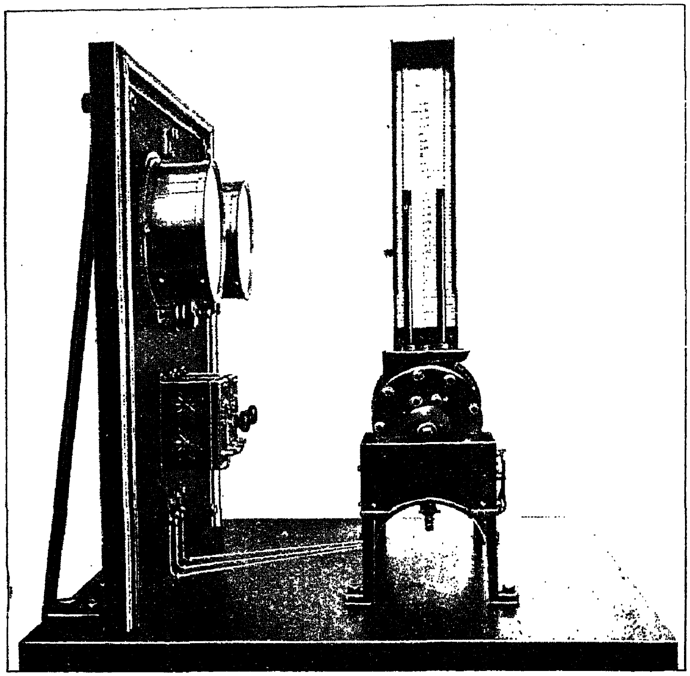


Fig. 135. Ölprüfapparat der Firma GEBR. KÖRTING, Berlin.

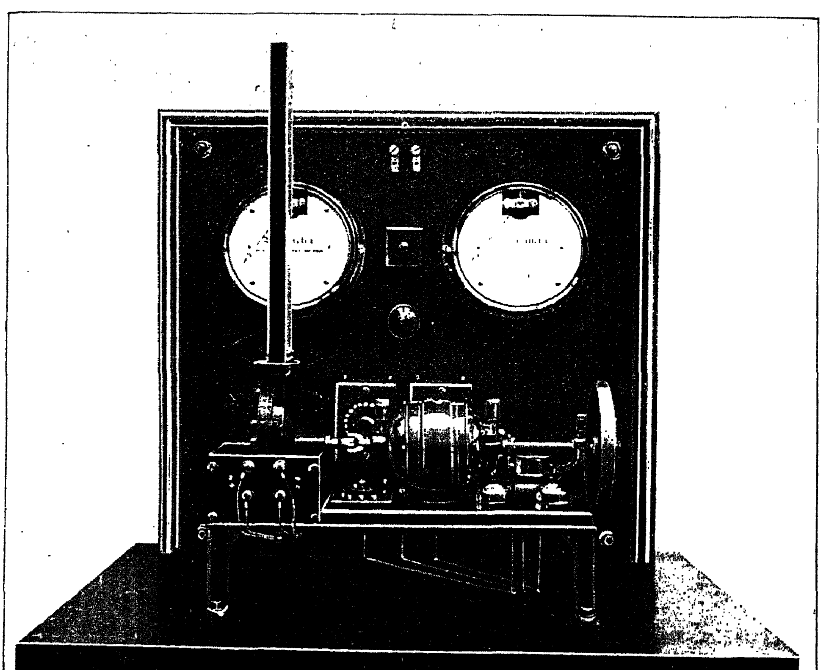


Fig. 136. Ölprüfapparat der Firma GEBR. KÖRTING, Berlin.

dass es bei dieser Temperatur einen erheblichen Widerstand gegen Verdrängung, also eine grosse Tragfähigkeit nicht mehr besitzt. Man kann daher auch nicht von einem Zylinderöl verlangen, dass es dem vollen Gewicht des Kolbens widerstehen soll. Hat man es mit liegenden Maschinen und erheblichen Kolbengewichten zu tun, so ist das Gewicht des Kolbens durch Anordnung einer durchgehenden Kolbenstange aufzunehmen.

Muss das Öl unbedingt eine Tragfähigkeit entwickeln, so kann diese nur durch Beimischung geeigneter fester Körper, wie z. B. feinsten Flockengraphits, erreicht werden.

Das Zylinderöl selbst muss hinreichend hohen Flammpunkt besitzen, soll gut raffiniert sein und darf nicht Ölsorten beigemischt enthalten, welche durch die Gebrauchstemperatur sich nach längerer Einwirkung zersetzen oder verkohlen und dadurch Anlass zum „Fressen“ geben.

Einen sehr zweckmässigen Apparat zur Bestimmung des Flammpunktes stellt die Fig. 137 in der Ausführung von P. Altmann in Berlin dar, dessen Konstruktion von Pensky-Martens herrührt.

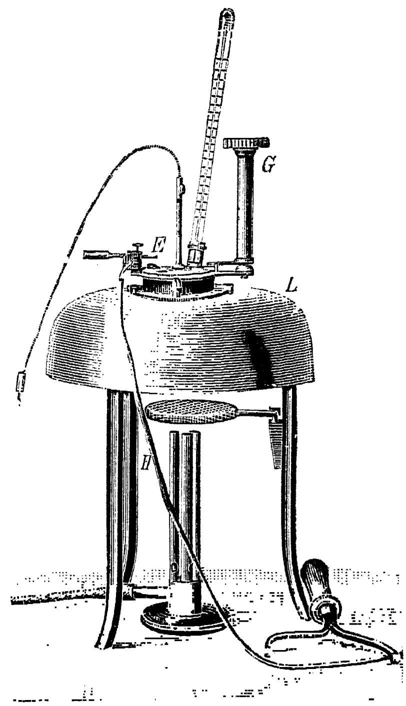


Fig. 137. Flammpunktsprüfer von P. Altmann, Berlin.

121. Ölreinigung

Die Sammlung und Reinigung des verbrauchten bezw. abgetropften Öles behufs Wiederverwendung gestattet ganz wesentliche Ersparnisse im Betriebe herbeizuführen. In einem gut geführten Dampfmaschinenbetriebe können z. B. über 95 % des gesamten Maschinenölbedarfes aufgefangen und wieder verwendet werden, was eine beträchtliche Ersparnis ausmacht. Von diesem Betrage müssen natürlich die totalen Kosten der Reinigung, welche im allgemeinen verhältnismässig gering sind, in Abzug gebracht werden, um ein einwandfreies Urteil über den wirtschaftlichen Wert der Ölreinigung zu erlangen.

Maschinen, welche reichlicher Ölschmierung bedürfen, besitzen in der Regel an der Grundplatte Vertiefungen oder Rillen, in denen sich das am Gestell ablaufende Öl sammelt. Aus diesen Sammelstellen wird das Öl mit Hilfe einer Ölspritze herausgeschöpft und in besonderen Gefässen gesammelt, um später von den aufgenommenen Verunreinigungen wie Staub und Schmutz und dem aus kondensiertem Dampf stammenden beigemengten Wasser befreit zu werden.

Da bei Dampfmaschinen zum Schmieren der Zylinder ein dickflüssigeres Öl verwendet wird, hiervon aber geringe Mengen durch die Stopfbuchsen beim Hin- und Hergehen der Kolbenstangen austreten und sich mit dem übrigen Abtropföl mischen, so zeigt das bei Dampfmaschinen aufgefangene Öl in der Regel eine grössere Konsistenz als das Maschinenöl, so dass eine gewisse Wertsteigerung des gereinigten Öles zu verzeichnen ist.

Ausser dem direkt aufgefangenen Abtropföl, welches durch das Sammeln nur geringe Unkosten verursacht, findet sich ein grosser Prozentsatz des

verschmierten Öles in dem Putzmaterial, wie Putzwolle, Putzlappen und Putztüchern wieder. Auch auf die Wiedergewinnung dieses Quantums sollte da Bedacht genommen werden, wo die genaue Kalkulation noch einen effektiven Gewinn erkennen lässt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass das entölte Putzmaterial nach erfolgter Wäsche und Trocknung ebenfalls wieder verwendbar ist.

In der zweckmässigsten und einfachsten Weise wird das Putzmaterial mit Hilfe einer Zentrifuge entölt. Da die Entölung um so vollkommener bewirkt werden kann, je dünnflüssiger das aufgesogene Öl ist, so empfiehlt sich unter Umständen eine vorgängige Erwärmung des zu entölenden Putzmaterials.

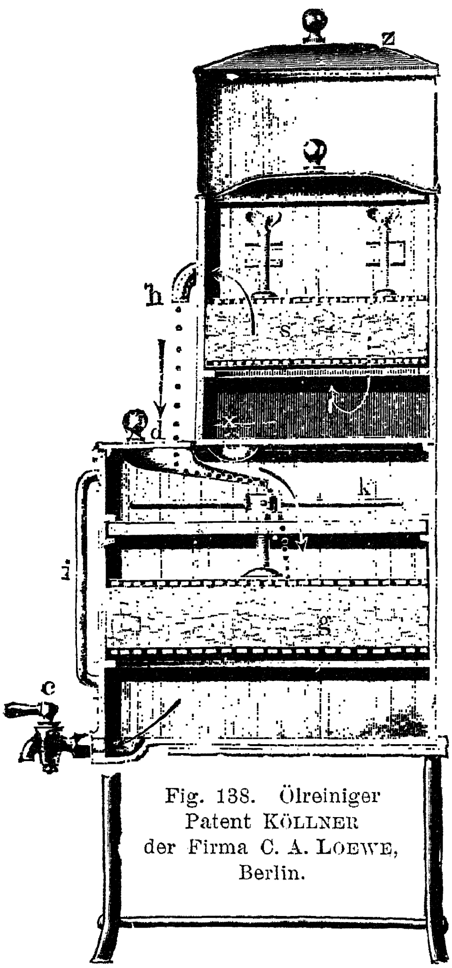


Fig. 138. Ölreiniger Patent Köllner der Firma C. A. Loewe, Berlin.

Hat man auf diese Weise möglichst viel des verschmierten Öles wiederaufgefangen, so erfolgt die gründliche Reinigung. Diese lässt sich, soweit es sich um die Abscheidung der festen, unlöslichen Beimengungen handelt, durch eine Filtration in einfacher Weise bewirken, wobei die Schnelligkeit und Ergiebigkeit des Verfahrens durch Erhitzung des Filtrats bedeutend erhöht wird.

Weniger einfach und vollkommen gestaltet sich die Trennung des dem Öl beigemengten Wassers, und die Wiedergewinnung des Öles wird bei zu viel aufgenommenem Wasser unter Umständen unwirtschaftlich werden.

Als Filtermaterial wird zweckmässig Putzwolle benutzt, welche auf dem Boden eines geheizten Gefässes, des sogenannten Ölreinigers, ausgebreitet ist. In der Regel sind mehrere Filter hintereinander geschaltet, welche das zu filtrierende Öl der Reihe nach zu passieren hat. Schliesslich läuft das filtrierte Öl in ein Sammelgefäss und soll hier Gelegenheit nehmen sich abzusetzen und vom Wasser zu scheiden. Ist eine vollkommene Abscheidung des aufgenommenen Wassers auf diese Weise nicht erreichbar, und muss das Wasser durch Verdampfung erst entfernt werden, so wird sich normalerweise die Ölreinigung nicht lohnen. Man suche daher bereits beim Auffangen des Öles das stark wasserhaltige Öl fernzuhalten.

In Fig. 138 ist ein Tropföl-Reinigungsapparat Patent Köllner der Firma C. A. Loewe in Berlin im Querschnitt dargestellt. Das schmutzige Öl gelangt vom Einguss *z* in den Raum *x*, woselbst der Inhalt durch eine Heizschlange erwärmt wird. In diesem Raume scheidet sich zunächst das Wasser unten ab, und es steigt das Öl durch das Filtermaterial *s* empor, fliesst bei *h* aus und passiert dann nochmals ein weiteres Filtermaterial bei *g*, um bei *c* abgezapft zu werden.

Das fertige Endprodukt aus dem Ölfilter wird zweckmässig nicht wie neues Öl verwendet, sondern dient lediglich als Zusatzöl zu frischem. Das Mischungsverhältnis richtet sich nach dem Grad der Konsistenz des gereinigten Öles und nach der zur Verfügung stehenden Menge desselben. Liegt keine Gefahr vor, dass die Konsistenz des Gemisches durch einen zu hohen Zusatz von gereinigtem Öl zu gross wird, so bietet selbst die reichlichste Beimischung von gereinigtem Öl keinerlei Nachteile, solange dieses Öl sich als chemisch rein erweist, namentlich solange dasselbe keinen zu hohen Säuregehalt aufweist. Eine Abnahme der Schmierfähigkeit des Öles durch fortwährende Wiederverwendung desselben konnte bisher in der Praxis nicht nachgewiesen werden, sofern die chemische Reinheit gewahrt blieb.

122. Aufbewahrungs- und Transporteinrichtungen für das Öl.

Die Anlieferung des Öles erfolgt fast überall in Fässern, aus welchen bei primitivster Einrichtung das Öl mittels Zapfhahn entsprechend dem Verbrauch entnommen wird.

Da die Holzfässer, namentlich beim Lagern in einem warmen Raume, leicht leck werden, auch beim Abzapfen des Öles unvermeidlich geringe Mengen verschüttet werden, und dadurch beim Transport zur Maschine sich hässliche Ölspuren bilden, empfiehlt es sich, das Öl in verschliessbaren Metallkästen (Fig. 139) aufzubewahren. Diese Ölbehälter, wie sie die Figur zeigt, sind verschliessbar und besitzen einen Ausguss, der sich beim Öffnen des Deckels aufrichtet und aus dem das Öl mit Hilfe einer im Kasten fest montierten kleinen Pumpe in die darunter gestellte Ölkanne überführt werden kann, ohne dass ein Tropfen auf den Boden gelangt. Alles überfliessende Öl läuft in den Behälter zurück. Derartige Behälter finden zweckmässig im Maschinenhause selbst ihren Aufstellungsort, da sie in keiner Weise das gute Aussehen des Raumes beeinträchtigen.



Fig. 139. Ölsparapparat von C. A. Loewe, Berlin.

Das Füllen dieser Ölbehälter kann in einfacher Weise mit einer kleinen Handpumpe direkt vom Fass aus erfolgen. Handelt es sich um grössere Anlagen mit erheblichem Ölverbrauch, bei welchen diese einfachste Art der Überführung sehr häufig erfolgen müsste und somit stören würde, so sind grössere Hochreservoirs für den gesamten Ölvorrat vorzusehen, in welche sowohl das neue wie auch das gereinigte Öl mit Hilfe von mechanisch angetriebenen Pumpen im gewünschten Mischungsverhältnis hineinbefördert wird. Von jedem Hochreservoir führen Rohrleitungen mit Zapfhähnen an die Verwendungsstellen, und es müssen naturgemäss für die verschiedenen benötigten Ölsorten getrennte Reservoirs und Leitungen vorgesehen werden.

In sehr zweckmässiger Weise kann für die Hochbeförderung wenigstens der dünnflüssigen Ölsorten der zum Ausblasen bezw. zum Reinigen der Dynamomaschinen vorhandene Kompressor benutzt werden, indem das Öl in ein Messgefäss geleitet wird, aus dem dasselbe alsdann nach Umstellung der

Hähne mit Hilfe der erzeugten Pressluft in die einzelnen kleineren Ölbehälter im Maschinenhause gedrückt wird, wie dieses z. B. beim städtischen Elektrizitätswerk Dortmund mit bestem Erfolg zur Ausführung gelangt ist.

c) Die Kontrolle des Gaskraftbetriebes.

123. Unterscheidungsmerkmale der verschiedenen Betriebsarten.

Der Betrieb von Gascentralen gestaltet sich je nach dem vorhandenen System sehr verschieden, indem von den Betriebseinrichtungen sowohl die Betriebsführung als auch die Betriebskontrolle abhängt. Man hat bei Gascentralen zunächst zwei Hauptsysteme zu unterscheiden, und zwar je nachdem sie

1. mit gasförmigen Brennstoffen oder
2. mit flüssigen Brennstoffen betrieben werden.

Das erste Hauptsystem kann man wieder in zwei Unterabteilungen zerlegen, nämlich

a) in Leuchtgascentralen und

b) in Kraftgascentralen.

Das zweite Hauptsystem zerfällt ebenfalls in zwei Unterabteilungen, nämlich

a) in solche Centralen, in denen der flüssige Brennstoff vor seinem Eintritt in den Motor vergast und alsdann mechanisch zur Entzündung gebracht wird, und

b) in solche, in denen der flüssige Brennstoff auf einen so hohen Druck gebracht wird, dass eine Selbstentzündung stattfindet.

Je nach dem zur Verwendung kommenden Systeme sind naturgemäss die Betriebseinrichtungen verschieden, deren charakteristische Merkmale in nachstehendem nochmals mit kurzen Worten geschildert werden sollen.

1. Gascentralen mit gasförmigen Brennstoffen.

a) Leuchtgascentralen. Bei diesen Centralen ist charakteristisch, dass die Motoren ihre Betriebskraft aus dem ihnen von einer Gasanstalt zugeführten Gase entwickeln. Sie stellen die einfachste Art der Gascentralen dar, indem sie ausser dem elektrischen Teile, der sich von demjenigen der Dampfcentralen in nichts unterscheidet, aus den Motoren mit dem zugehörigen Gas- und Wassermesser sowie den Gasdruckreglern bestehen.

b) Kraftgascentralen. Dieselben kann man wiederum entweder nach den zu verwendenden Brennstoffen unterscheiden in solche, in denen Anthracit, ferner in solche, in denen Koke, und schliesslich in solche, in denen bitumenhaltige Brennstoffe vergast werden; oder sie lassen sich auch nach der Art ihrer Betriebseinrichtung in folgende zwei Hauptgruppen zerlegen:

1. in solche mit besonderem Hochdruckdampfkessel und
2. in solche ohne besonderen Dampfkessel.

Die letztere Art Anlagen weist nun wiederum drei Unterabteilungen auf, und zwar:

a) Kraftgasanlagen, bei denen die Vergasungsluft resp. ein Gemisch von Luft und Wasserdampf unter den Rost gedrückt wird (Druckgasanlage ohne Dampfkessel).

b) Anlagen, in denen vermittelst eines in die Leitung zwischen Motor und Generator eingeschalteten Exhaustors das erzeugte Gas aus dem Generator herausgesaugt und dem Motor direkt oder durch einen Gasvorratsbehälter zugeführt wird (kombinierte Saug- und Druckgasanlage), und

c) in solche Anlagen, in denen der Motor sein Gas selbst aus dem Generator saugt (Sauggasanlage).

Die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale der beiden Hauptgruppen der Kraftgascentralen gehen ohne weiteres aus der Bezeichnung hervor, je nachdem also ein Hochdruckdampfkessel für den Betrieb erforderlich ist oder nicht.

Bei den Druckgasanlagen mit Dampfkessel dient der letztere zum Betriebe eines Dampfgebläses, welches Luft mit Wasserdampf gemischt unter den Rost des Generators und dann durch die glühenden Kohlenschichten drückt. Sie haben den Nachteil, einen konzessionspflichtigen Dampfkessel besitzen zu müssen, und infolge der Dampfkesselheizung in bezug auf den Brennmaterialverbrauch etwas unökonomischer zu arbeiten als die Anlagen ohne Dampfkessel.

Von den Kraftanlagen ohne Dampfkessel ist die unter a) bezeichnete Art die ungebräuchlichste. Sie besitzt den Nachteil, einen Ventilator während der ganzen Betriebsdauer besonders betreiben zu müssen, was natürlich ebenfalls einen gewissen Kraftverbrauch in sich schliesst, sowie den Generator während des Betriebes nicht abschlacken zu können.

Kombinierte Saug- und Druckgasanlagen haben nur da einigen Wert, wo sehr lange Gasleitungen zwischen dem Generator und dem Motor in Frage kommen, und wo die Gasrohre behufs Vermeidung eines zu hohen Unterdruckes sonst zu grosse Dimensionen erhalten müssten, Fälle, die verhältnismässig selten vorkommen. Auch hier ist die ständige Inbetriebhaltung eines Exhaustors erforderlich, was naturgemäss mit Kraftverlusten verknüpft ist.

Die reinen Sauggasanlagen dagegen weisen die Nachteile der vorgenannten Anlagen nicht auf, sie sind daher in bezug auf die Beschaffenheit ihrer Apparate sehr einfach und im Betrieb ausserordentlich ökonomisch.

2. Gascentralen mit flüssigen Brennstoffen.

a) Gascentralen mit flüssigen Brennstoffen, die vor dem Eintritt in den Motor vergast werden.

Für diese Anlagen kommen Spiritus, Benzin, Petroleum, neuerdings auch eine Flüssigkeit, Ergin genannt, in Frage. Sie haben indessen wenig Bedeutung für Elektrizitätswerke, weil diese Stoffe entweder grossen Preisschwankungen unterworfen oder auch an und für sich zu teuer sind, um mit anderen Materialien erfolgreich konkurrieren zu können.

Die verschiedenen vorgenannten Brennstoffe werden in besonderen Vergasern, die erst künstlich angewärmt werden müssen, vergast und gelangen alsdann in gasförmigem Zustande in den Motor, wo sie in gleicher Weise wie die sonstigen Gase entzündet werden.

b) Gascentralen mit flüssigen Brennstoffen, die bei entsprechend hohem Drucke (ca. 35 Atm.) im Zylinder durch Selbstentzündung zur Verbrennung kommen. Hier kommen ausser Petroleum billige, in Lampen nicht brennbare Mineralöle, Naphthaöle, sowie Braunkohlendestillate, Paraffinöle, Solaröle u. dgl. in Frage.

Die letztgenannten Motoren arbeiten im allgemeinen in Bezug auf Brennstoffverbrauch recht günstig, doch würde es verfrüht sein, schon jetzt ein abschliessendes Urteil über dieselben zu fällen, weil ihre Anwendung in Centralen noch verhältnismässig jungen Datums ist, und erst eine langjährige Betriebsdauer erweisen kann, wie sie sich bewähren, und ob der von Fachleuten noch gehegte Zweifel berechtigt ist oder nicht, dass sich bei dem durch natürlichen Verschleiss bedingten allmählichen Undichtwerden von Kolben und Ventilen die hohe, zur Entzündung des Brennstoffes erforderliche Kompression auf die Dauer nicht oder nur schwer wird aufrecht erhalten lassen.

Tatsächlich bestehen indessen seit etwa zwei Jahren derartige elektrische Centralen, wenn auch nur mit Motoren geringerer Grösse, so dass sie hier nicht unerwähnt gelassen werden dürfen.

Die letztgenannten Anlagen sind etwas komplizierter als die unter 2a beschriebenen infolge der Kompressionspumpen, die zur Erzeugung des hohen, zur Selbstentzündung des Brennstoffes erforderlichen Druckes erforderlich sind, und die wiederum besondere Antriebsvorrichtungen resp. einen gewissen Kraftverbrauch bedingen.

Die fortschreitende Technik lässt jedoch erwarten, dass auch dieses System, das besonders in DIESEL- und HASELWANDER-Motoren zur Anwendung kommt, bald auch für grosse Leistungen zu einer Vollkommenheit und Betriebssicherheit gebracht werden wird, welche die übrigen Systeme heute in der Tat bereits besitzen.

124. Vorzüge und Nachteile der einzelnen Systeme.

Welchem Systeme bei der Verschiedenartigkeit derselben der Vorzug zu geben ist, bedarf daher reiflicher Überlegung und der sorgfältigen Abwägung aller Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme, die in nachstehendem etwas näher behandelt werden sollen, da es erforderlich erscheint, dass sich der Betriebsleiter einer Gascentrale darüber klar ist, welche Eigenheiten die einzelnen Betriebsarten besitzen, und welche Vorkehrungen zur Durchführung eines ordnungsmässigen Betriebes zu treffen sind.

Die besonderen Vorteile, die Gascentralen und ganz besonders solche mit Leuchtgasbetrieb bieten, liegen darin, dass sie sehr wenig Raum in Anspruch nehmen, daher leicht im Inneren der Städte im Schwerpunkt des Absatzgebietes der elektrischen Energie erbaut werden können, dass sie infolgedessen billigere Kabelnetze bedingen, dass sie wenig Betriebspersonal erfordern und besonders, dass sie jeden Augenblick betriebsbereit sind.

Diesen Vorteilen stehen als Nachteil in bezug auf Ökonomie bei Leuchtgasbetrieb die zu hohen Betriebskosten infolge des meist zu hohen Preises des Leuchtgases gegenüber, so dass Leuchtgascentralen gewöhnlich nur da anzutreffen sind, wo Gasanstalt und Elektrizitätswerk sich in einer Hand befinden.

Den Gascentralen mit Leuchtgasbetrieb kommen in bezug auf Raumbedarf, stete Betriebsbereitschaft und Einfachheit der Ausstattung diejenigen mit Motoren für flüssige Brennstoffe am nächsten, übertreffen erstere jedoch bezüglich der Billigkeit des Betriebes.

Die den beiden vorstehend erwähnten Systemen eigenen Vorteile kommen dagegen bei Kraftgasanlagen nicht in gleichem Masse zur Geltung, indem erstens der Raumbedarf grösser ist, und zweitens eine geraume Zeit für die Erzeugung des zur Inbetriebsetzung der Motoren benötigten Gases erforderlich ist, von einer sofortigen Betriebsbereitschaft daher nicht mehr gesprochen werden kann. Während die Vorteile des Leuchtgasbetriebes meist durch höhere Betriebskosten erkauft werden müssen, werden die Nachteile der anderen Systeme dagegen durch mehr oder weniger niedrige Betriebskosten aufgewogen.

Die Anlagekosten sind im allgemeinen bei gleicher Ausstattung für Gascentralen etwas niedriger als für Dampfcentralen, sie sollen hier jedoch ausser Betracht bleiben, da sie nicht in so hohem Masse voneinander abweichen, dass sie für die Wahl des Systemes von wesentlicher Bedeutung wären. Von viel grösserem Einfluss darauf ist die Höhe der Betriebskosten.

Es wäre indes verfehlt, bei der Wahl des Systems für die Gascentrale lediglich die Betriebskosten ausschlaggebend sein zu lassen, es müssen vielmehr noch vielerlei mit derartigen Anlagen verknüpfte Nebenumstände berücksichtigt werden, die in folgendem besprochen werden sollen, weil sie, ob mit oder ohne Willen der Lieferanten der Motoren sei dahingestellt, häufig von vornherein nicht erwähnt resp. später als bekannt vorausgesetzt werden.

So ist allen Gascentralen der Übelstand gemeinsam, dass eine Überlastung der Motoren nur in ganz geringem Masse möglich ist, dass ferner die Auspuffgase derselben nicht geruchlos sind, und dass letztere ohne besondere Vorkehrungen beim Austritt in die freie Luft ein sehr starkes Geräusch verursachen.

Die geringe Überlastungsfähigkeit liegt in dem System der Gasmotoren begründet; es darf daher die Normalleistung der Dampfmaschine annähernd nur mit der Höchstleistung des Gasmotors verglichen werden, was auch für die Bemessung der Grösse der Motoren von Bedeutung ist.

Was den Geruch anbetrifft, so rührt derselbe hauptsächlich von den den Auspuffgasen mechanisch beigemengten Verbrennungsprodukten der zur Schmierung der Zylinder, Ventilspindeln u. s. w. benutzten Öle, manchmal auch von unverbrannten oder nicht ganz verbrannten Gasen her. Ein Mittel, den „brenzligen" Geruch ganz zu beseitigen, hat man bisher noch nicht herausgefunden, es ist daher erforderlich, dafür zu sorgen, dass eine möglichst vollkommene Verbrennung stattfindet, dass nicht übermässig stark geschmiert wird, und dass die Auspuffgase so hoch in die freie Luft abgeführt werden, dass eine Belästigung der Anwohner nicht stattfindet. Im allgemeinen hat sich die Abführung der Auspuffgase in einer Höhe von 20 m über dem Fussboden hierfür als vollkommen ausreichend erwiesen.

125. Milderung des Auspuffgeräusches.

Mehr Schwierigkeiten noch als der Geruch macht die Beseitigung des Geräusches der Abgase grosser Gasmotoren. Bei den verhältnismässig kleinen Motoren, die bis vor wenigen Jahren noch gebaut wurden, war dieses Auspuffgeräusch nicht von so erheblicher Bedeutung wie jetzt, wo Gasmotoren von Tausenden von Pferdekräften gebaut werden, und wo es ohne besondere Massnahmen tatsächlich nicht angängig ist, die Auspuffgase frei ausströmen zu lassen. Das Geräusch der Auspuffgase sehr grosser Gasmotoren ganz zu beseitigen, ist zwar bis heute noch ein ungelöstes Problem, wohl aber giebt es für Motoren bis etwa 500 PS Leistung Vorkehrungen,

die das Geräusch auf ein durchaus erträgliches Mass herabzumindern gestatten. Das gebräuchlichste Mittel hierfür ist das Hintereinander- oder Parallelschalten mehrerer sogenannter Auspufftöpfe, das jedoch bei Motoren über 200 PS bereits versagt, besonders wenn die Centralstation inmitten bewohnter Häuserblocks und nicht etwa weit ab von bewohnten Gegenden gelegen ist. Am wirkungsvollsten hat sich für diese Zwecke die Anlage von schalldämpfenden Gruben erwiesen, wie eine solche in der Fig. 140 dargestellt ist. Die Grube wird am besten im Erdboden aus hartgebrannten Ziegelsteinen und reinem Cementmörtel oder aus Cementbeton hergestellt, und zwar so gross, wie die Verhältnisse es nur erlauben. Bei der Anlage ist darauf zu achten, dass die Wandungen stark genug gewählt werden, um eventuell den bei Entzündung von explosiblem Gemisch auftretenden Explosionsdruck aushalten zu können, da die Möglichkeit nicht ganz ausgeschlossen ist, dass in diesen Schalldämpfer ein Gemisch von unverbrannten Gasen und

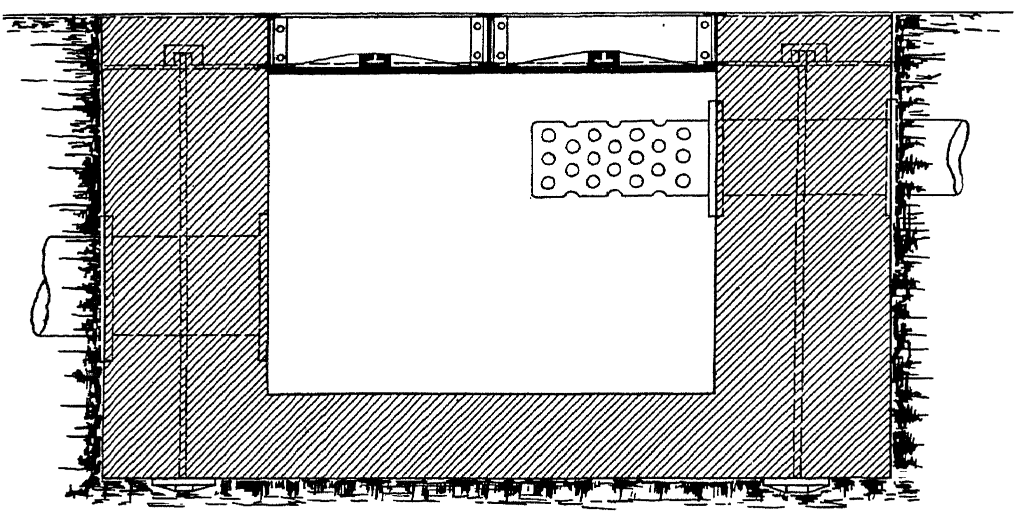


Fig. 140. Schalldämpfer für Gasmotoren.

Luft gelangen und zur Entzündung gebracht werden kann. Bei grösseren Gruben ist es daher zu empfehlen, dieselben nicht vollständig leer zu lassen, sondern sie unter Berücksichtigung der für das Durchströmen der Abgase erforderlichen Zwischenräume mit einem Material auszufüllen, das durch die Einwirkung der heissen Abgase nicht zerstört werden kann. Dieses Material besteht vorteilhaft aus Steinkugeln, die ihrer Form wegen eine Gewähr dafür bieten, dass die nötigen Zwischenräume stets vorhanden sind. Die Summe dieser Zwischenräume muss indessen wenigstens drei- bis fünfmal so gross sein, als der in den Schalldämpfer einmündende Rohrquerschnitt, damit eine genügende Expansion der Auspuffgase darin stattfinden kann. Bei kleineren unausgefüllten Gruben ist darauf zu achten, dass die Mündung des die Auspuffgase abführenden Rohres nicht der einmündenden Rohröffnung gerade entgegengesetzt angeordnet ist, da die schalldämpfende Wirkung eine bessere wird, wenn die Auspuffgase erst gegen eine Fläche anprallen, ehe sie durch das zweite Rohr entweichen können.

Eine weitere Möglichkeit, das Auspuffgeräusch von Gasmotoren herabzumindern, wird dadurch gegeben, dass man den von den Schalldämpfern

abzweigenden Auspuffrohren einen möglichst grossen Durchmesser giebt und dieselben nicht direkt in die freie Luft, sondern in einen gemauerten Schornstein ausmünden lässt, der von unten das Zuströmen von Luft gestattet und der, richtig angelegt, zu gleicher Zeit für Ventilationszwecke ausgenutzt werden kann. Von Vorteil ist ferner, das in den Schalldämpfer einmündende Auspuffrohr am Ende zu schliessen, dasselbe dafür aber seitlich mit einer grossen Anzahl von Löchern zu versehen, deren Gesamtquerschnitt wenigstens doppelt so gross als der Rohrquerschnitt ist. Desgleichen hat sich auch die Zwischenschaltung von durchlochten Scheiben zwischen die Flanschen der von den Schalldämpfern ins Freie führenden Rohre als schalldämpfendes Mittel erwiesen.

Schliesslich lässt sich auch durch eine Einspritzung von etwas Wasser in die Auspuffrohrleitung eine schalldämpfende Wirkung erzielen, wobei allerdings eine wesentlich stärkere Abnutzung der gusseisernen Rohre mit in Kauf genommen werden muss.

Zu beachten ist ferner bei dem Vorhandensein mehrerer Motoren, dass die Auspuffrohre nicht in einen gemeinsamen Schalldämpfer geführt werden, weil ein Motor nicht nur den anderen während des Ganges beeinflussen kann, sondern weil es auch nicht ausgeschlossen ist, dass, wenn ein Motor läuft, die anderen aber stehen, und wenn nicht sorgfältig darauf geachtet wurde, dass sich die Ventile der stillstehenden Motoren in geschlossener Stellung befinden, Auspuffgase in die Ventilgehäuse eintreten und daselbst Anfressungen der Ventilsitzflächen und Verrosten der Ventilspindeln verursachen. Es muss daher jeder Motor seinen eigenen Schalldämpfer erhalten.

126. Regelung des Gasdruckes.

Was nun ferner speziell Leuchtgascentralen anbetrifft, so hat man weiterhin sein Augenmerk darauf zu richten, dass die durch die ruckweise Entnahme des Gases entstehenden Schwankungen des Gasstromes sich nicht auf die übrigen an das Rohrnetz angeschlossenen Gasrohre übertragen und Zuckungen im Lichte der an dieselben angeschlossenen Flammen verursachen.

Die einfachste und besonders bei Motoren geringer Leistung gebräuchlichste Vorkehrung zur Verhütung von Lichtschwankungen stellen die bekannten Gummibeutel dar, die einzeln oder zu mehreren angewendet, bei kleineren Motoren in Verbindung mit Gasdruckreglern ihren Zweck recht gut erfüllen. Letztere haben den Zweck, den Zufluss des Gases zu den Gummibeuteln auf einem möglichst gleichbleibenden von den Schwankungen im äusseren Rohrnetz unabhängigen Drucke zu erhalten. Wenngleich die Gummibeutel in vielen Fällen für kleinere Anlagen ausreichen, haben sie doch den Nachteil, dass sie für grössere Motoren zu grosse Dimensionen erhalten müssten, dass sie mit der Zeit undicht und gasdurchlässig und durch das entweichende Gas für das Bedienungspersonal gesundheitsschädlich werden können. Es möge daher an dieser Stelle auf einen Apparat aufmerksam gemacht werden, der seinen Zweck in sehr vollkommener Weise erfüllt und unter normalen Verhältnissen dauerhaft ist und zu Reparaturen wenig Veranlassung giebt. Es ist dies der SCHRABETZsche Antifluktuator,[1]) dessen Wirkung, wie aus der Fig. 141 ersichtlich ist, darin besteht, dass eine Gasglocke mit einer in das Gaszuführungsrohr eingebauten Drosselklappe zwangläufig verbunden ist und letztere je nach Bedarf öffnet oder schliesst.

1) Fabrikant Ingenieur EMIL SCHRABETZ, Wien I.

Mittels einer geeigneten Kombination solcher Apparate lassen sich die im Rohrnetz entstehenden Schwankungen selbst bei grossen Motoren vollkommen unschädlich machen.

127. Ingangsetzung der Anlage.

Mit Kraftgascentralen sind noch einige weitere Übelstände verknüpft, die den vorgenannten Systemen nicht anhaften, und deren Beseitigung häufig eine sehr schwierige Aufgabe für den Betriebsleiter ist.

Die Inbetriebsetzung einer Kraftgascentrale findet bekanntlich statt, indem zunächst der Generator warm geblasen werden muss, ehe der Motor in Betrieb gesetzt werden kann. Die erste Unannehmlichkeit stellt sich nun schon beim Anblasen des Generators ein, sei es, dass dies wie zum Beispiel bei Druckgasanlagen durch einen Dampfkessel, sei es, dass es wie bei Sauggasanlagen durch einen Ventilator geschieht. Dieser sich beim Anblasen des Generators einstellende Übelstand besteht in der Entwickelung starken Rauches

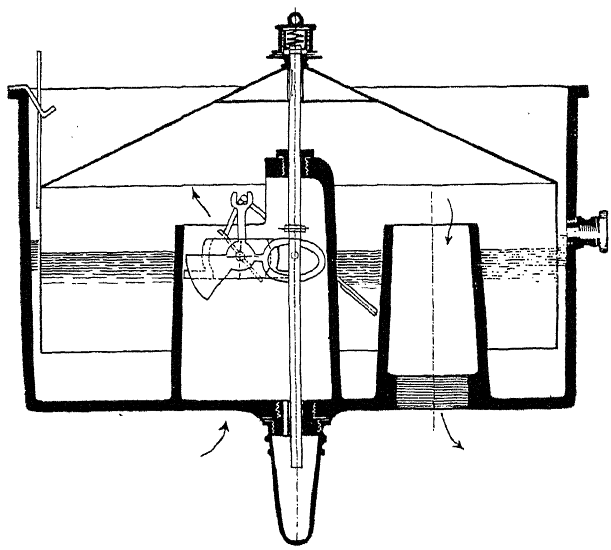


Fig. 141. Antifluktuator von Schrabetz.

und eines sehr üblen Geruches des so lange ins Freie abzuführenden Gases, bis dasselbe die zur Inbetriebsetzung des Motors erforderliche Beschaffenheit besitzt.

Hierbei spielt nun wieder das zur Vergasung kommende Brennmaterial eine wesentliche Rolle. Die Stoffe, die für solche Anlagen hauptsächlich in Betracht kommen, sind Anthracit wegen seines hohen Heizwertes, seiner grossen Reinheit, seiner geringen Schlacke- und Aschebildung und der Fähigkeit, bei geringer Luftzufuhr sehr langsam weiter zu brennen und daher sehr lange Glut zu halten; Koke, als überall erhältliches Nebenprodukt von Gasanstalten, das, je nach der Kohlensorte, aus der es erzeugt wurde, in geringerem oder höherem Grade mehr Asche und Schlacke ergiebt als Anthracit, das aber dafür meist billiger im Preise ist; schliesslich bituminöse Brennstoffe, wie Braunkohle, Torf, Holz und dergleichen vergasungsfähige Stoffe.

Die vorerwähnte unangenehme Beigabe jeder Kraftgascentrale sucht man dadurch zu beseitigen, dass man in die ins Freie führenden Abgasrohre so-

genannte Rauchverbrennungsapparate, wie ein solcher in Fig. 142 abgebildet ist, einbaut. Wie aus der Figur ersichtlich ist, ähnelt der Apparat einem Bunsenbrenner, in den die Rauchgase von unten eintreten, sich dort mit Luft mischen und alsdann durch eine oberhalb der Rohrmündung befindliche Flamme entzündet und, soweit es möglich ist, verbrannt werden. Gemildert wird der vorerwähnte Übelstand zwar auf diese Weise, ganz beseitigt indessen nicht, weshalb es erforderlich ist, diese Rohre ebenso wie die Auspuffrohre möglichst hoch in die freie Luft hinaufzuführen und das Anblasen des Generators nach Möglichkeit zu beschleunigen. Zu letzterem Zwecke bedient man sich bei Sauggasanlagen eines möglichst grossen Ventilators, wodurch die Zeitdauer des Anblasens eines neu in Betrieb kommenden Generators auf etwa $^1/_3$ bis $^1/_2$ Stunde, eines noch mit glühenden Kohlen gefüllten Generators auf wenige Minuten herabgedrückt werden kann. Sobald der Motor in Betrieb gesetzt ist, verschwindet natürlich Rauch und Geruch der Generatorabgase, während sich ein anderer Übelstand einstellt, der nicht weniger Aufmerksamkeit erfordert.

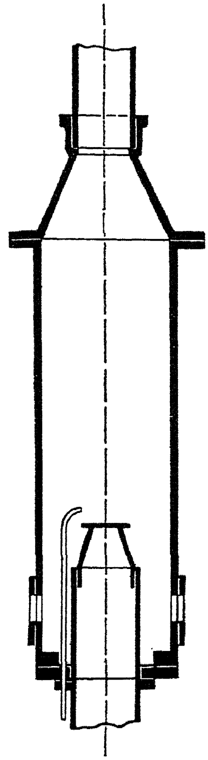


Fig. 142. Rauch- und Gasverbrennungsapparat.

128. Neutralisierung des Skrubberwassers.

Es ist dies die Beschaffenheit des zur Kühlung und Reinigung des Gases dienenden Wassers, gewöhnlich mit dem Namen „Skrubberwasser“ bezeichnet. Da das dem Generator entströmende Gas eine sehr hohe Temperatur (500 bis 700 ^{0}) besitzt, dem Motor aber möglichst kühl zugeführt werden muss, da ferner dem Gase Unreinigkeiten mechanisch beigemischt sind, die aus demselben entfernt werden müssen, um möglichst rein in den Motor zu gelangen, so dient das den Skrubber durchfliessende Wasser für beide vorgenannten Zwecke, indem es sowohl die Kühlung des Gases als auch die Reinigung desselben bewirkt. Der sich hierbei dem Wasser mitteilende Geruch kann unter Umständen ein so unangenehmer sein, dass die Abführung des Skrubberwassers grosse Schwierigkeiten verursacht. Dieser besonders bei grossen Generatorgasanlagen mit Anthracit- und Kokefeuerung auftretende ausserordentlich üble Geruch ist in der Tat eine sehr unangenehme Zugabe derartiger Anlagen. Da der Geruch des Abwassers hauptsächlich von der Aufnahme von Schwefelwasserstoff herrührt, so hat man denselben dadurch zu binden und unschädlich zu machen gesucht, dass man dem Wasser Eisenvitriol zusetzt. Wenn auch die Wirkung eine auffällig günstige ist, und mit diesem Mittel bei richtiger Anwendung eine starke Milderung des Geruches erzielt werden kann, so wird eine vollständige Beseitigung desselben hiermit doch nicht erreicht, weshalb als weiteres Hilfsmittel eine möglichst starke Verdünnung des Skrubberwassers empfohlen werden kann. Da Gasmotoren ohnehin eine gewisse Wassermenge zu ihrer Kühlung gebrauchen, so ist es ratsam, das Kühlwasser der Motoren mit dem Skrubberwasser zu vermischen und erforderlichen Falles noch weiteres frisches Wasser hinzuzusetzen. Sollte auch hierdurch das Abwasser noch nicht geruchlos genug sein, um eventuell frei oder in die Kanalleitung ablaufen zu können, so wird die Anwendung entsprechend grosser Kiesfilter gute Dienste tun.

Wesentlich günstiger als bei Anthracit- und Kokeanlagen verhält sich das Skrubberwasser von Generatoranlagen mit Braunkohlenfeuerung, das nur einen ganz geringen Geruch nach Teer, nicht aber nach Schwefelwasserstoff besitzt. Dieser Umstand kann mit zu den Hauptvorteilen dieses Systems gegenüber den Vergasungen von Anthracit und Koke gerechnet werden, ohne hierbei die ökonomische Seite zu berücksichtigen.

129. Reinigung des Generatorgases. Besondere Aufmerksamkeit hat ferner der Betriebsleiter darauf zu richten, dass das dem Gasmotor zuströmende Gas, wie schon erwähnt, sich in einem möglichst reinen Zustande befindet, da sich aus übel angebrachter Sparsamkeit hierbei etwa gemachte Fehler im späteren Betriebe sehr bald rächen. Es kann daher nicht dringend genug empfohlen werden, die Reinigung des Gases so weit als nur möglich zu treiben.

Die erforderlichen Reinigungsapparate richten sich nun in der Hauptsache nach dem zur Verwendung vorgesehenen Brennstoffe, da die aus demselben erzeugten Gase sich im Betriebe sehr verschiedenartig verhalten. Da nun die Bauart der Generatoren zurzeit die Verwendung jedes beliebigen Brennmateriales noch nicht zulässt, hat man rechtzeitig eine Entscheidung zu treffen, welches Brennmaterial verbraucht werden soll, und dementsprechend die Anlage einrichten zu lassen. Aber selbst bei gleichnamigen Brennstoffen ergeben sich oft sehr verschiedene Resultate je nach dem Gewinnungsorte, dem sie entstammen, und der besseren oder geringeren Sorte, die zur Verwendung gelangt. Dies ist besonders auffällig bei den verschiedenen Anthracitsorten in bezug auf Ausscheidung teeriger Substanzen. Während die Reinigung des Gases von mechanisch beigemengten, mitgerissenen Asche- und Wasserteilen durch Verwendung geeigneter Apparate, Skrubber, Sägemehlreiniger u. s. w. leicht zu bewerkstelligen ist, ist dies in bezug auf teerige Bestandteile nicht in gleichem Masse der Fall.

Als der in jeder Hinsicht günstigste Anthracit ist der englische zu bezeichnen, während alle deutschen Anthracitsorten in geringerem oder höherem Masse entweder Teer ausscheiden oder Schlacke- und Aschebildung aufweisen. Auch einige deutsche Marken verhalten sich speziell in Beziehung auf Teerabsatz nicht ungünstig, am günstigsten der Anthracit aus den Zechen Olbernhau i. S. und Langenbrahm b. Aachen, während sie sich andererseits in bezug auf Asche- und Schlackebildung wesentlich ungünstiger erweisen.

Kokegas scheidet ebenfalls nur sehr geringe Mengen teeriger Substanzen aus; Koke bildet aber andererseits viel Schlacken und Asche, während bituminöse Stoffe so viel Schwelgase entwickeln, dass es besonderer Konstruktionen von Generatoren bedurfte, um dieselben überhaupt zum Betriebe von Kraftgascentralen verwenden zu können. Die neueren Konstruktionen renommierter Firmen haben nun allerdings die Eigenschaft, eine sehr vollkommene Teerverbrennung herbeizuführen und ein ausserordentlich reines Gas zu liefern, doch ist es unter allen Umständen vorteilhaft, selbst wenn man später ein sehr reines Gas ergebendes Brennmaterial verarbeitet, in der Grösse und Anzahl der Reinigungsapparate trotzdem nicht zu sparen. Für die Beseitigung der teerigen Bestandteile bedient man sich bei Anthracit- und Kokefeuerung mit Vorteil der sogenannten „Sägemehlreiniger“, Kasten, in denen mehrere Lagen mit Sägemehl bedeckter Horden untergebracht sind, durch die das Gas hindurchstreichen muss, wobei sich sowohl etwa noch mitgerissenes Wasser als auch Teerteilchen in dem Sägemehl ablagern. Dass

letzteres je nach der Beschaffenheit der Brennstoffe öfter oder seltener erneuert werden muss, ist selbstverständlich.

Da nun ferner die verschiedenen Brennstoffe verschiedene Heizwerte besitzen, so ist es einleuchtend, dass sich nach der Art des Brennstoffes nicht nur die Konstruktion, sondern auch die Grösse der Generatoren richten muss. Je grösser daher der Heizwert des Brennstoffes, desto kleiner kann der Generator sein und umgekehrt. **130.** Wert der verschiedenen Brennstoffe.

Die durchschnittlichen Heizwerte der verschiedenen für Generatoranlagen hauptsächlich in Betracht kommenden Brennstoffe sind:

Anthracit, englisch . . .	7500—8200	Cal. pro kg
„ deutsch . . .	7300—7800	„ „ „
Koke	7000—7500	„ „ „
Braunkohle, Brikett . . .	4500—5000	„ „ „
Braunkohle, Stücken . . .	4000—4500	„ „ „

der durchschnittliche Heizwert des Leuchtgases beträgt etwa 5000 Cal. pro cbm,
der durchschnittliche Heizwert der für Gascentralen mit Verwendung flüssiger Stoffe in Betracht kommenden Brennstoffe beträgt 9500—11500 Cal. pro kg.

Für die Wahl des Brennstoffes ist nun nicht nur sein Heizwert sowie sein Verhalten bei der Vergasung massgebend, sondern auch ganz besonders sein Preis, wenngleich der prozentuale Anteil des Brennmaterialverbrauches an den Gesamtausgaben in den meisten Fällen nicht so gross ist, dass es ratsam wäre, auf den Preis allein einen zu hohen Wert zu legen.

Für die Wahl des Systemes spielen oftmals die sog. Nebenumstände, wie

Raumverhältnisse,
allgemeine örtliche Verhältnisse (z. B. ob Industriestadt oder Luftkurort),
intermittierender oder Dauerbetrieb,
Wasser-Beschaffung und -Fortleitung u. dgl. m.

eine viel wichtigere Rolle als die reinen Erzeugungskosten.

Hat nun unter Berücksichtigung aller vorstehend erwähnten Verhältnisse und Umstände der Bau einer Gascentrale stattgefunden, so ist die wichtigste Aufgabe des Betriebsleiters zunächst die, sich von der Beschaffenheit der ihm unterstellten Anlage durch eine gewissenhafte Prüfung Gewissheit zu verschaffen.

Den verschiedenen Systemen entsprechend sind auch naturgemäss die Prüfungsbedingungen verschieden. **131.** Prüfung der Motorenleistung.

Handelt es sich um eine Leuchtgascentrale, so hat sich die Prüfung hauptsächlich auf den Gasmotor, und zwar bezüglich seiner Leistung, seines Gas- und Wasserverbrauches sowie seines sonstigen allgemeinen Verhaltens zu erstrecken.

Die Feststellung der Leistung des Motors geschieht auf die sicherste Weise durch Bremsung vermittelst der Zaumbremse, die sich jedoch wegen der damit verbundenen Schwierigkeiten nicht überall in den Elektrizitätswerken durchführen lässt. Es empfiehlt sich daher, vor der Ablieferung des Motors in der Fabrik die Bremsversuche vorzunehmen resp. überwachen zu lassen. Hierbei sind gleichzeitig Indikatordiagramme aufzunehmen, deren

Wiederholung nach der Aufstellung in der Centrale mit Leichtigkeit zum Vergleiche mit den früheren Versuchen dienen kann.

Von wesentlichem Einfluss auf die Leistung und den Gasverbrauch eines Gasmotors ist der Heizwert des demselben zugeführten Gases, und es ist deshalb erforderlich, denselben zunächst bei den Bremsversuchen und später im regulären Betriebe wiederholt festzustellen.

132. Prüfung des Heizwertes. Während früher die Feststellung des Heizwertes von Gasen eine mehr oder minder mühevolle und zeitraubende Arbeit war, besitzt man jetzt hierfür

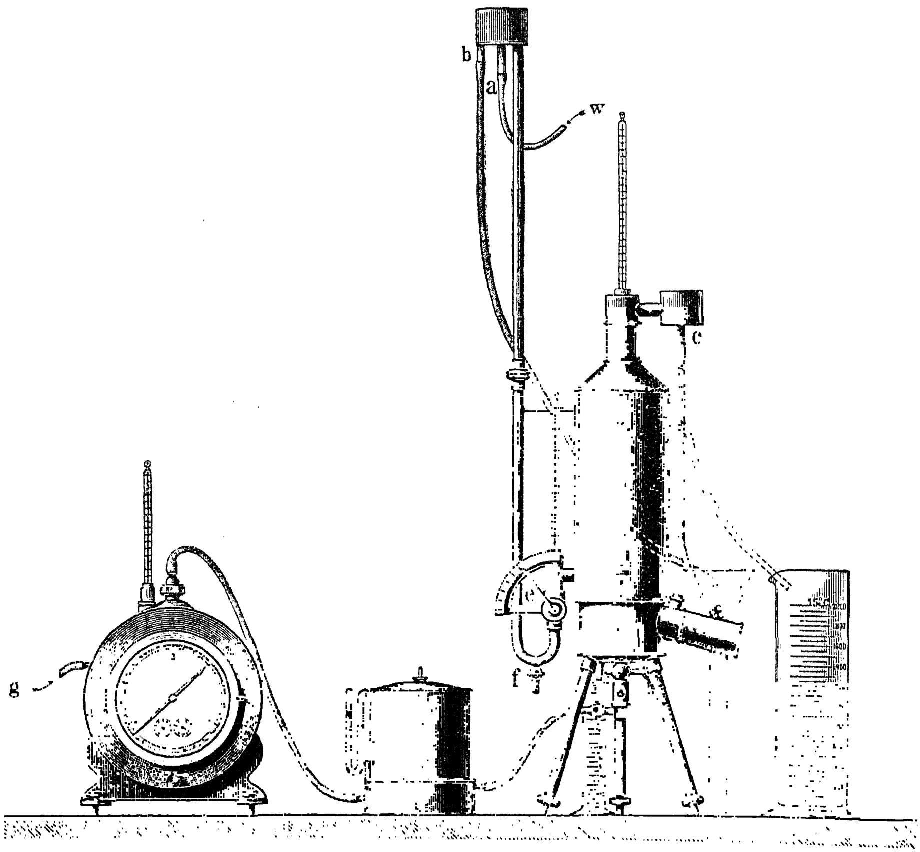


Fig. 143. Calorimeter, Patent JUNKERS.

einen sehr geeigneten Apparat in dem Calorimeter von JUNKERS, weil derselbe mit Leichtigkeit und Zuverlässigkeit auch von theoretisch nicht vorgebildeten Arbeitern gehandhabt werden kann und Gasheizwertbestimmungen im Verlaufe weniger Minuten mit grosser Genauigkeit vorzunehmen gestattet.

Der JUNKERSsche Apparat (Fig. 143), ist folgendermassen konstruiert:

Das durch einen genau geeichten Gasmesser und einen Druckregler strömende Gas verbrennt im Innern eines durch einen Wassermantel beständig und gleichmässig abgekühlten Röhrenkessels. Die von der Flamme entwickelte Wärme wird vollständig von dem beständig fliessenden Wasserstrome aufgenommen. Aus der Menge Wasser, die den Apparat durchflossen hat, während eine bestimmte Menge Gas verbrannt ist, und aus der

Temperaturdifferenz des ein- und ausströmenden Wassers berechnet man den Heizwert eines Gases nach der Formel:

$$\text{Heizwert} = \frac{\text{Wassermenge} \times \text{Temperaturdifferenz}}{\text{Gasmenge.}}$$

Die Luft hat freien Zutritt von unten zur Flamme, erwärmt sich an derselben und kühlt sich wieder bis auf die Eintrittstemperatur dadurch ab, dass sie an den wassergekühlten Wandungen vorbeistreicht, um nach dem Durchströmen sehr vieler engen, wasserumspülten Röhren seitlich unten wieder auszutreten. In dem Luftabzugsstutzen befindet sich eine Drosselklappe und eine Vorrichtung zur Anbringung eines Thermometers, erstere behufs Regulierung des Luftstromes, letzteres zur Messung der Temperatur desselben.

Das Kühlwasser tritt von unten in den Apparat, steigt, die kleinen Rohre umspülend, nach oben und nimmt dabei die gesamte durch die Verbrennung des Gases erzeugte Wärmemenge in sich auf. Da, wo das Wasser in den Apparat eintritt, und auch da, wo es denselben verlässt, sind genau in $^1/_{10}$-Grade eingeteilte Präzisionsthermometer angebracht, um die an diesen Stellen vorhandenen Wärmegrade des Wassers ablesen zu können.

Im Wasserzuflussrohr befindet sich ein Regulierhahn mit Skala. Das Rohr ist nach oben weit über den Apparat hinausgeführt und trägt am Kopf einen Einlauftrichter, der mit einer Wasserleitung verbunden wird. Dieser Trichter enthält einen nach dem Inneren des Apparates führenden Überlauf und einen zweiten, der in das Freie führt. Der Wasserzufluss wird nun stets so geregelt, dass etwas Wasser durch den zweiten Überlauf abfliesst. Hierdurch bleibt der Druck des dem Apparate zuströmenden Wassers stets genau der gleiche. Auch das austretende Wasser fliesst von unten in einen Trichter, in welchem sich ein Überlauf befindet. Dieser ist mit einem Gummischlauch verbunden, den man während der Untersuchungszeit im gegebenen Augenblick entweder in ein kalibriertes oder in ein vorher genau abgewogenes Gefäss hineinbringen kann. Auf die beschriebene Weise wird ein vollkommen gleichbleibender Wasserdruck während der Messung gewährleistet.

Die Abkühlung der Verbrennungsgase soll möglichst bis zur Temperatur der äusseren Luft stattfinden, damit der Feuchtigkeitsgehalt des Gases demjenigen der Luft gleichkommt.

Zur Anstellung einer Messung verfährt man nun folgendermassen: Zunächst stellt man das Wasser an, wartet, bis sich der Apparat gefüllt hat, und das Wasser abfliesst, entzündet alsdann die Flamme und führt sie bis zu der vorgeschriebenen Höhe in den Apparat ein. Nun wartet man so lange, bis in der Temperatur des ablaufenden Wassers nur noch ganz geringe Schwankungen bemerkbar sind. Gleichzeitig notiert man die Temperatur des Gases und den Barometerstand. Der Apparat ist binnen wenigen Minuten so weit, dass die Messung vorgenommen werden kann. Man nimmt nunmehr den Gummischlauch in Randhöhe des Messgefässes, beobachtet den Gasmesser und führt im Augenblick des Durchganges des Zeigers durch den Nullpunkt den Schlauch in das Messgefäss. Nun lässt man eine bestimmte Gasmenge, etwa 10 l, durch den Gasmesser hindurchgehen, drückt den Gummischlauch im richtigen Moment zusammen und nimmt ihn aus dem Messgefäss heraus. Während der Versuchszeit beobachtet man die beiden Wasserthermometer und macht sich etwa zehn Aufzeichnungen der Temperaturen, um hieraus die mittlere Temperatur zu bestimmen.

Hat sich nun z. B. während der Verbrennung von 10 l Gas ein Gewicht von 1·5 kg Durchflusswasser und eine mittlere Temperaturdifferenz von 36° C. ergeben, so erhält man für diese Gasmenge einen Heizwert von $\frac{1{\cdot}5 \times 36}{10} = 54$ Calorien und für 1 cbm Gas demnach 5400 Calorien.

Dieser abgelesene Heizwert, im allgemeinen der „obere Heizwert" genannt, ist jedoch nicht der wirkliche Heizwert. Es ist nämlich von demselben noch diejenige Wärmemenge in Abzug zu bringen, die in dem bei der Verbrennung des Gases sich bildenden Wasserdampf enthalten ist. Dieser Wasserdampf kondensiert sich und kann durch ein kleines Gefäss aufgefangen und gewogen werden. Man multipliziert nun die Anzahl der von den 10 Litern verbrannten Gases aufgefangenen Kubikzentimeter oder Gramm Kondenswasser mit 60 und zieht die so erhaltene Zahl von dem pro cbm ermittelten oberen Heizwerte ab. Bei Leuchtgas hat sich aus zahlreichen Versuchen ergeben, dass der untere, praktische Heizwert ziemlich genau 10% geringer ist, als der obere.

Da die Gasmotorenfabrikanten gewöhnlich den Gasverbrauch ihrer Motoren nicht nach Wärmeeinheiten, sondern nach Litern pro effektive Pferdestärke bezogen auf eine Gastemperatur von 0° C., einen Barometerstand von 760 mm und einen Heizwert des Gases von 5000 Calorien angeben, so hat man die oben erwähnten Resultate einer entsprechenden Umrechnung zu unterziehen.

Diese Umrechnung kann nach nachstehendem Schema geschehen:

Gastemperatur in °C.	Luftdruck mm	Unterer Heizwert des Gases in Cal.	Gasverbrauch pro effektive Pferdekraftstunde in Litern
t_g	d	C_u	l
t_0	d	$C_u \cdot \frac{273 + tg}{273} = x$	$l \cdot \frac{C_u}{x} = y$
t_0	d_{760}	$x \cdot \frac{760}{d} = x_1$	$y \cdot \frac{x}{x_1} = y_1$
t_0	d_{760}	5000	$y_1 \cdot \frac{x_1}{5000} = y_2$

y_2 ergiebt alsdann den wirklichen Gasverbrauch des Motors pro effektive Pferdekraftstunde in Litern bezogen auf 0° C., 760 mm Barometerstand und 5000 Calorien Heizwert. Der Einfachheit halber multipliziert man den durch den Gasmesser für 1 PS Std. ermittelten Gasverbrauch des Motors mit dem gleichzeitig festgestellten Heizwert des Gases und dividiert durch 5000, was zum gleichen Ziele führt.

Ob die Beziehung des Heizwertes auf 0° C. und 760 mm Wassersäule zweckentsprechend ist, ist noch eine strittige Frage; jedenfalls ist es erforderlich, dass die Feststellungen des Gasverbrauches auf den gleichen Grundlagen basieren.

Selbstredend lassen sich die Heizwerte von Gasen auch aus den chemischen Analysen derselben ermitteln; dieses Verfahren kommt jedoch für den praktischen Betrieb nicht zur Geltung, da so hohe Anforderungen an das Bedienungspersonal der Maschinen nicht gestellt werden können.

Zur Bestimmung der Gas- und Kühlwassermenge der Motoren sind gewöhnliche Gas- resp. Wassermesser erforderlich, deren Konstruktion allgemein bekannt ist. 133. Gas- und Wassermessung.

Sind somit alle erforderlichen Vorkehrungen getroffen, so kann mit der Prüfung der Anlage begonnen werden.

Die Feststellung des Gasverbrauches hat zweckmässigerweise bei $^1/_2$, $^3/_4$ und Vollbelastung zu geschehen, weil aus den erhaltenen Resultaten auf die Vollkommenheit der Konstruktion des Motors sehr wohl geschlossen werden kann; sie ist um so besser, je geringer die Differenz der pro Pferdestärke verbrauchten Gasmenge bei den verschiedenen Belastungen ist. Die Prüfung des Gasmotors bei Vollbelastung hat sich auf einen Zeitraum von etwa 10—12 Stunden zu erstrecken.

Hat vor der Ablieferung der Motoren eine Bremsung derselben in der Fabrik stattgefunden, so kann im Elektrizitätswerk alsdann die Belastung der Motoren vermittelst der Dynamomaschinen erfolgen, deren Wirkungsgrad ebenfalls vorher in der Fabrik festgestellt werden kann. Da moderne Dynamomaschinen renommierter Firmen nur unwesentlich in ihrem Wirkungsgrade von einander abweichen, können die etwa eintretenden Fehler nie so gross werden, dass die für die Praxis erforderlichen Resultate nicht genau genug würden.

Die Prüfung mit der Zaumbremse kann etwa nach umstehendem Schema ausgeführt werden.

Ist die Prüfung einer Gascentrale mit flüssigen oder festen Brennstoffen vorzunehmen, so ist die Bestimmung des Heizwertes schwieriger; es wird sich hier deshalb empfehlen, die Heizwertbestimmung des Brennstoffes in einem chemischen Laboratorium vornehmen zu lassen und die umstehenden Schemata alsdann dementsprechend zu ändern.

Handelt es sich um eine Kraftgascentrale, so kann die Bestimmung des Heizwertes des zur Verwendung kommenden Brennmaterials zwar auch in einer calorimetrischen Bombe, einem Parrschen Calorimeter oder auf Grund der chemischen Analyse erfolgen; da jedoch zu diesen Bestimmungen einige Gewandtheit und Kenntnisse erforderlich sind, tut man gut, den Heizwert ebenso wie bei flüssigen Brennstoffen in einem chemischen Laboratorium ermitteln zu lassen. Je nachdem man nun mit der Zaumbremse oder mit Dynamomaschinen die Versuche ausführen will, bedient man sich der erwähnten Schemata, indem man noch die folgenden Rubriken hinzufügt und dafür die unzutreffenden fortlässt.

Verbrauch an Brennstoff:		Dem Brennstoffverbrauch entsprechender Wärmeverbrauch pro PSe-Stunde	Wasserverbrauch des Skrubbers und Verdampfers
pro Betriebsstunde	pro PSe-Stunde		
kg	kg	cal.	m^3

Die Prüfungen von Kraftgasanlagen lassen sich nicht so leicht mit gleicher Genauigkeit wie bei Leuchtgasanlagen ausführen, weil es immer mit gewissen Schwierigkeiten verknüpft ist, die genaue Menge des verbrauchten Brennstoffes festzustellen. Man verfährt daher folgendermassen: Nachdem

Prüfung eines Gasmotors mittels der Zaumbremse.

Datum	Dauer des Versuches			Länge des ausbalancierten Hebels	Bremsgewicht Ne	Umdrehg. des Motors pro Minute	Bremsleistung Ne	Indizierte Mittelspannung	Indizierte Leistung Ni	Leerlaufsarbeit Ni-Ne	Mechanisch. Wirkungsgrad	Gasverbrauch bez. auf 0° C., 760 mm u. 5000 Cal.				Im Calorimeter bestimmt. Heizwert	Dem Gasverbr. entsprechender Wärmeverbrauch		Kühlwasser				Bemerkungen
												Leerlauf pro Std.	bei Belastung pro Std.	bei Belastung pro PSe-Std.	bei Belastung pro PSi-Std.		pro PSe-Std.	pro PSi-Std.	Eintrittstemperatur	Austrittstemperatur	Verbrauch in	Verbrauch pro PSe-Std.	
	von	bis	Std.	m	PS		PS	pi	PS	PS	$n = \frac{Ne}{Ni}$	m³	m³	m³	m³	cal.	cal.	cal.	° C.	° C.	m³	m³	

Für eine Nachprüfung des Gasmotors nach der Aufstellung im Elektrizitätswerke vermittelst Belastung durch die Dynamomaschine kann das nachstehende Schema verwendet werden:

Datum	Dauer des Versuches			Leistung der Dynamo 1)			Wirkungsgrad der Dynamo	Leistung des Motors Ne	Indizierte Mittelspannung	Indizierte Leistung Ni	Leerlaufsarbeit Ni-Ne	Gasverbrauch red. auf 0° C., 760 mm u. 5000 Cal.					Im Calorimeter bestimmt. Heizwert d. Gases	Dem Gasverbr. entsprechender Wärmeverbrauch		Kühlwasser				Bemerkungen
												Leerlauf	bei Belastung	pro PSe-Std.	pro PSi-Std.	pro KW-Std.		pro PSe-Std.	pro PSi-Std.	Eintrittstemperatur	Austrittstemperatur	Verbrauch in	Verbrauch pro PSe-Std.	
	von	bis	Std.	Amp.	Volt	KW	%	PSe	pi	PS	PS	m³	m³	m³	m³	m³	cal.	cal.	cal.	° C.	° C.	m³	m³	

1) Die Leistung der Dynamo ist möglichst durch einen geeichten Elektrizitätsmesser festzustellen.

der zu prüfende Motor einige Zeit in regulärem Betriebe war, wird der Generator abgeschlackt und die Höhe der Brennstoffschicht so genau als möglich gemessen. Alsdann wird das vorher jedesmal genau abgewogene Brennmaterial im Verhältnis zum Abbrand nachgefüllt, bis der Motor 10 bis 12 Stunden im Betriebe war. Nach Abstellen des Motors wird wiederum abgeschlackt, um die im Generator noch vorhandene Schichthöhe des Brennstoffes festzustellen. Auf diese Weise lässt sich das Brennmaterial ziemlich genau bemessen. Bei dieser Gelegenheit wird man auch die Menge der Schlacken, besonders bei Anthracit und Koke, sowie diejenige der Asche bestimmen, um sich ein Urteil über die Güte des Brennstoffes zu bilden.

Bei Druckgas- und kombinierten Druck- und Sauggasanlagen ist die Entnahme von Gas behufs seiner Heizwertbestimmung in derselben Weise wie bei Leuchtgasanlagen möglich, weil das Gas in der Rohrleitung oder einem Teile derselben stets unter einem gewissen Drucke steht; bei reinen Sauggasanlagen dagegen ist die Anwendung einer Gaspumpe erforderlich, die das aus der Rohrleitung zu saugende Gas in einen Gasbehälter drückt, von welchem aus es alsdann dem Calorimeter zugeführt wird.

Wieviel Kubikmeter Gas aus einem Kilogramm Brennstoff erzeugt werden kann, hängt wesentlich von der Konstruktion der Gaserzeugungsapparate ab; die Ausbeute wird um so grösser sein, je vollkommener die Konstruktion und je sachgemässer die Bedienung ist. **134. Bestimmung der Gasausbeute.**

Die Ausbeute der Steinkohle in Leuchtgasanstalten ist naturgemäss ebenfalls von der Beschaffenheit der zur Vergasung verwendeten Steinkohle abhängig, sie schwankt jedoch im allgemeinen in verhältnismässig geringen Grenzen und kann im Durchschnitt zu 0·25—0·3 m^3 pro 1 kg mit einem Heizwert von 5500—5000 Cal. angenommen werden.

In Generatorgasanlagen kann man mit modernen Generatoren bei sehr aufmerksamer Bedienung aus:

1 kg	Anthracit	von	7500—8000	Cal.	Heizwert	4·5—5·4 m^3
1 „	Koke		6500—7000	„	„	4·8—5·4 „
1 „	Braunkohlenbrikett		4500—5000	„	„	2·9—3·2 „
1 „	böhm. Braunkohle		4200—4800	„	„	2·5—3·0 „

Generatorgas erzeugen.

Bei Anthracit und Koke muss zur Erzielung guter Resultate Wasserdampf in entsprechender Menge (gewöhnlich auf 1 kg Brennstoff 1 kg Wasserdampf) zugesetzt werden, es steigt hierdurch die Ausnutzung dieser Brennstoffe um mehr als 10 %. Wird denselben lediglich Luft zugeführt, so ergiebt sich als Hauptbestandteil dieses Gases an brennbarer Substanz Kohlenoxydgas (Luftgas), das den gesamten Stickstoffgehalt der Luft als überflüssigen Ballast enthält. Auf diese Weise lässt sich nur eine Ausnutzung des Brennstoffes von 65—68 % erzielen, während unter Zusetzung der richtigen Menge Wasserdampf im günstigsten Falle etwa 84 % zu erreichen sind. Der Wasserdampf zersetzt sich in der glühenden Kohleschicht zu Wasserstoff und Sauerstoff; ersterer bildet einen wertvollen Bestandteil des Gases, letzterer gestattet eine Verringerung der zuzuführenden Luftmenge und führt somit eine Verringerung des Stickstoffgehaltes des Gases herbei. Der Wasserdampfzusatz bringt ferner den Vorteil einer niedrigen Temperatur des aus dem Generator ausströmenden Gases mit sich, was wiederum eine Verringerung der Kühlwassermenge für das letztere bedingt.

Bei Verwendung von Braunkohlenbriketts oder böhmischer Braunkohle ist jedoch gewöhnlich der Zusatz von Wasserdampf überflüssig, weil diese Brennstoffe bereits genügend hohen Wassergehalt besitzen, und ein weiterer Zusatz nur vom Übel sein würde. Es ist gerade der hohe Wassergehalt der gewöhnlichen Tagesbau-Braunkohle bisher ihrer Verwendung für Generatoren noch hinderlich gewesen.

Während Leuchtgas in der Hauptsache aus:

46—49	Vol. %		Wasserstoff,
34—38	„	„	Sumpfgas,
5— 8	„	„	Kohlenoxyd,
3— 5	„	„	schweren Kohlenwasserstoffen,

sowie etwas Kohlensäure und Stickstoff besteht, hat Kraftgas im Durchschnitt folgende Zusammensetzung:

56·0—60·0	Vol. %		Stickstoff,
26·0—29·0	„	„	Kohlenoxyd,
5·5— 9·0	„	„	Wasserstoff,
4·0— 6·0	„	„	Kohlensäure,
1·5— 2·5	„	„	Sumpfgas.

Je nach seiner Zusammensetzung hat das aus den verschiedenen Brennstoffen erzeugte Kraftgas naturgemäss einen höheren oder niedrigeren Heizwert. Im allgemeinen kann derselbe angenommen werden für:

Kraftgas	aus	Anthracit	zu	1200—1300	Cal.
„	„	Koke	„	1100—1200	„
„	„	Braunkohle	„	1000—1100	„
„	„	Hochöfen	„	800— 900	„

Die letztgenannte Gasart kommt zwar für Elektrizitätswerke, die zur Beleuchtung ganzer Städte dienen, bisher noch nicht zur Anwendung, doch sei derselben hier Erwähnung getan, da das in sehr grossen Mengen vorkommende Hochofengas einen wesentlichen Einfluss auf den Bau grosser Gasmotoren ausgeübt hat.

135. Betriebssicherheit.

Was die Betriebssicherheit anbetrifft, so kann dieselbe für Gascentralen bei richtiger Handhabung des Betriebes und sorgfältiger Beobachtung aller Nebenumstände als durchaus befriedigend bezeichnet werden, doch ist dieselbe zweifellos zur Zeit in Dampfcentralen noch grösser als in Gascentralen, weil nicht nur die Dampfmaschine sowie die Dampfkessel unempfindlicher sind als Gasmotoren und Generatorgasanlagen, sondern auch, weil Dampfmaschinen, wenn auch unter Verschlechterung ihrer Ökonomie, wesentlich stärker überlastet werden können als Gasmotoren. Es erfordert daher eine Gascentrale eine grössere Aufmerksamkeit in der Bedienung und besondere Einrichtungen, die diesen Mangel der geringen Überlastungsfähigkeit ausgleichen. Zu diesem Zwecke empfiehlt es sich, in Gascentralen grössere Akkumulatorenbatterien aufzustellen, als sie eigentlich den Verhältnissen entsprechen würden, damit bei plötzlich auftretendem Mehrbedarf an elektrischer Energie dieser so lange aus den Akkumulatoren gedeckt werden kann, bis ein weiterer Motor in Betrieb gesetzt ist.

Die Inbetriebsetzung eines Gasmotors an sich erfordert im Gegensatz zur Dampfmaschine eine wesentlich kürzere Zeit und geschieht bei moderneren Anlagen meist vermittelst Druckluft, die in kleinen Kesseln vorrätig gehalten wird. Zur Erzeugung der Druckluft bedient man sich gewöhnlich eines kleinen Kompressors, der auf irgend eine Art, meist wohl durch einen Elektromotor, angetrieben wird. Für grössere Gasmotoren verwendet man Luft von ca. 10—12 Atm. Überdruck, um die Luftvorratskessel nicht zu gross machen zu müssen, während für die Inbetriebsetzung selbst schon ein viel niedrigerer Druck genügt. Die Gasmotoren kann man ebenfalls mit einer Vorrichtung versehen, welche es ermöglicht, die lebendige Kraft des Schwungrades und die Kompression des Motors zur Füllung der Druckluftkessel auszunutzen.

Da Gasmotoren, wie schon früher erwähnt, gekühlt werden müssen, und dies zur Zeit noch ausschliesslich durch Wasser geschieht, letzteres aber nicht überall in ausreichender Menge vorhanden ist, so bedient man sich ebenso wie bei Dampfanlagen zur Abkühlung des meistens auf 50—60° erwärmten Wassers der bekannten Gradierwerke. Die Menge des zur Kühlung der Motoren benötigten Wassers ist mehr oder weniger gleichfalls von dem System des Motors und der Zuflusstemperatur des Wassers abhängig. Im allgemeinen kann man behufs Feststellung des Kühlwasserbedarfs annehmen: **136. Rückkühlanlage.**

bei Leuchtgasmotoren	25—30 Liter	pro effektive Pferdekraftstunde
„ Kraftgasmotoren für Anthracit und Koke	40—50 „	
„ „ „ Braunkohle . . .	30—40 „	
„ Dieselmotoren	15—20 „	

wenngleich der tatsächliche Verbrauch in manchen Fällen unter den angegebenen Mengen bleibt, in anderen Fällen dagegen auch etwas grösser wird, besonders wo die Geruchlosmachung des Skrubberwassers Schwierigkeiten macht und eine bedeutende Verdünnung desselben nötig wird.

Was den S c h m i e r ö l v e r b r a u c h anbetrifft, so muss derselbe bei Gascentralen um ein Geringes höher angesetzt werden als bei Dampfcentralen; doch hängt derselbe wesentlich von der Geschicklichkeit und der gewissenhaften Bedienung seitens des Betriebspersonals ab, welches häufig geneigt ist, besonders die Kolben der Gasmotoren stärker zu schmieren, als es für den guten Gang derselben erforderlich ist. Im Gegenteil ist eine zu reichliche Schmierung der Kolben von Gasmotoren insofern nachteilig für den Motor, als das überflüssige Öl hinter dem Kolben verbrennt resp. verdampft und sich teils als feste Rückstände an dem Kolben und den Kolbenringen festsetzt, teils den Geruch der Auspuffgase nachteilig beeinflusst. Es ist daher bei der Auswahl des Schmieröles für Gasmotoren ausser auf den Grad der Viskosität desselben auch auf einen möglichst hohen Entflammungspunkt Wert zu legen. Um den Verbrauch an Schmieröl auf das geringste Mass herabzumindern, verwendet man auch hier wie üblich Ölfiltrierapparate, um eine wiederholte Benutzung des Öles zu gestatten. **137. Öl-verbrauch**

Für die ordnungsmässige und ökonomische Handhabung des Betriebes ist natürlich die Einrichtung einer sorgfältigen B e t r i e b s k o n t r o l l e zweckmässig, zumal sich dieselbe bei Gascentralen verhältnismässig leicht durchführen lässt. Zunächst ist die Anlegung eines Maschinenraum-Journals etwa nach umstehendem Muster empfehlenswert. **138. Betriebskontrolle.**

Für Gascentralen mit flüssigen Brennstoffen wird man die Köpfe der Tabellen natürlich zweckentsprechend ändern.

a) Für Leuchtgascentralen.

1. Für die stündlichen Eintragungen:

(Tag) .... den ....ten .... 19...... ....PS-Motor Nr. ....

In Betrieb für						Gasverbrauch für					Heizwert des Gases nach dem Calorimeter	Wasserverbrauch		Ölverbrauch (frisches Öl)	Energie-Erzeugung		Gasverbrauch für 1 KW-Stunde	Bemerkungen
Leerlauf			Energie-Erzeug.			Leerlauf		Energie-Erzeugung										
						Gasmesser-Stand	Verbrauch	Gasmesser-Stand	Verbrauch	Insges.		Wassermesser-Stand	Verbrauch		Elektr.-Messer-Stand	KW-Std.		
von	bis	Std.	von	bis	Std.		m^3		m^3	m^3	cal.		m^3	kg			m^3	

2. Für die täglichen und monatlichen Eintragungen für jeden Gasmotor resp. Gasdynamo:

(Monat) .... 19...... ....PS-Motor Nr. ....

Datum	In Betrieb für			Gasverbrauch für			Durchschnittl. Heizwert des Gases	Wasserverbrauch	Ölverbrauch	Leistung des Motors in	Energie-Erzeugung	Gasverbrauch für			Mit 1 m^3 Gas wurden erzeugt		Bemerkungen
	Leerlauf	Energie-Erzeugung	Insgesamt	Leerlauf	Energie-Erzeugung	Insgesamt						1 Betriebsstunde	1 PSe-Std.	1 KW-Std.	KW-Std.	PSe-Std.	
	Std.	Std.	Std.	m^3	m^3	m^3	cal.	m^3	kg	PSe-Std.	KW-Std.	m^3	m^3	m^3			

b) Für Kraftgascentralen.

1. Für die stündlichen Eintragungen:

(Tag) .... den ......ten .... 19...... ....PS-Motor Nr. ......

In Betrieb für						............Verbrauch			Heizwert des Gases nach dem Calorimeter	Wasserverbrauch		Ölverbrauch	Energie-Erzeugung		.... Verbrauch für 1 KW-Stunde	Erzeugte KW-Stunden pro kg	Heizwert des Brennstoffes
Leerlauf			Energie-Erzeugung			Leer-feuerung	Energie-Erzeugung	Insgesamt		Wasser-messer-Stand	Verbrauch		Elektr.-Messer-Stand	KW-Std.			
von	bis	Std.	von	bis	Std.	kg	kg	kg	cal.		m³	kg			kg	....	Cal.

2. Für die täglichen Eintragungen:

(Monat) .... 19...... ....PS-Motor Nr. ......

Datum	In Betrieb für			............Verbrauch für			Durchschnittl. Heizwert des Gases	Wasserverbrauch	Ölverbrauch	Geleistete	Energie-Erzeugung	......Verbrauch für			Mit 1 kg wurden erzeugt		Heizwert des Brennstoffes	Bemerkungen
	Leerlauf	Energie-Erzeugung	Insgesamt	Leerfeuerung	Energie-Erzeugung	Insgesamt						1 Betriebsstunde	1 PSe-Std.	1 KW-Std.	PSe-Std.	KW-Std.		
	Std.	Std.	Std.	kg	kg	kg	cal.	m³	kg	PSe-Std.	KW-Std.	kg	kg	kg			Cal.	

Die Heizwertbestimmung des Gases wird man bei Leuchtgascentralen zweckmässigerweise nicht stündlich, sondern nur etwa dreimal täglich, früh, mittags und abends, vornehmen, da erfahrungsgemäss der Heizwert des Leuchtgases sich nicht plötzlich ändert, wohl aber im Laufe eines Tages ebenfalls Schwankungen unterworfen ist, die bis zu 20 % betragen können, meist indessen bei weitem nicht so gross sind.

Bei Generatorgasanlagen ändert sich der Heizwert des Gases dagegen fast fortwährend; er ist nach erfolgter Auffüllung des Brennstoffes am höchsten und sinkt allmählich mit dem Abbrand desselben, so dass für eine genaue Kontrolle häufigere Heizwertbestimmungen nötig sind. Meist begnügt man sich jedoch mit der genauen Aufzeichnung des Gewichtes des verbrauchten Brennstoffes und stellt nur von Zeit zu Zeit genauere Messungen an.

Die Gesamtresultate der einzelnen Monate werden schliesslich zu einer Zusammenstellung für das ganze Jahr vereinigt, so dass eine sehr gute Übersicht über alle für eine genaue Statistik erforderlichen Zahlen möglich ist.

Aus den Vergleichen der Resultate der einzelnen Tage miteinander oder der Resultate des einen Motors mit denen des andern lässt sich der Zustand derselben, sowie das Funktionieren der gesamten Anlage sehr gut beurteilen und nötigenfalls verbessern. Unter normalen Verhältnissen dürfen die Betriebsergebnisse der einzelnen gleich grossen Motoren nur verhältnismässig wenig von einander abweichen. Werden daher grössere Unterschiede bemerkt, so lässt dies mit einiger Sicherheit darauf schliessen, dass an den Motoren oder der übrigen Anlage etwas nicht in Ordnung ist.

Bei Leuchtgascentralen giebt es naturgemäss weniger Ursachen zu einem Nachlassen der Leistung des Motors als bei Kraftgascentralen, und es wird Sache des Betriebsleiters sein, diese Mängel so schnell als möglich herauszufinden. Bei erstgenannten Motoren wird man, wenn sich der Heizwert des Gases als normal ergeben hat, zunächst den Gasdruck kontrollieren, der vor dem Motor eine gewisse Höhe, gewöhnlich 15—20 mm, betragen soll. Diese Kontrolle lässt sich leicht durch ein U-förmig gebogenes, mit einer farbigen Flüssigkeit gefülltes Glasrohr ausüben, dessen einen Schenkel man durch einen Gummischlauch mit dem Gasrohr in Verbindung bringt. Zeigt sich ein zu niedriger Druck und ist auf der Gasanstalt der übliche Druck vorhanden, so ist auf eine Rohrquerschnittsverengung infolge von Naphthalin- oder Teerausscheidungen oder auf eine zu grosse Wasseransammlung in den Wassertöpfen zu schliessen und für schleunige Abhilfe Sorge zu tragen. Das Auspumpen der Wassertöpfe ist in wenigen Minuten geschehen; die Beseitigung von Rohrverstopfungen ist dagegen schwieriger. Es ist daher bedenklich, eine Leuchtgascentrale nur mit einem Gasanschlussrohre zu versehen.

Auch das Undichtwerden der Ansauge- oder Auspuffventile sowie der Kolben kann ein Nachlassen der Leistung eines Gasmotors bewirken, weshalb in einem geordneten Betriebe eine regelmässige Kontrolle des Motors resp. der Ventile am Platze ist. Eine bestimmte Norm, in welchen Zwischenräumen derartige Arbeiten auszuführen sind, lässt sich nicht angeben, sie richten sich vielmehr nach der Betriebsstundenzahl und der Reinheit des verwendeten Gases; im allgemeinen wird eine vierteljährliche Kontrolle ausreichend sein.

Das Undichtwerden von Kolben und Ventilen lässt sich übrigens auch durch Indikatordiagramme feststellen, so dass es vorteilhaft ist, wenn von

vornherein auf eine leichte Anbringung des Indikators Rücksicht genommen wird, um von Zeit zu Zeit Diagramme aufnehmen zu können, ohne erst besondere Vorkehrungen treffen zu müssen.

Bei Kraftgascentralen kann auch die Generatoranlage die Ursache zu einem Versagen resp. Nachlassen des Motors sein, z. B. durch eine zu niedrige Brennstoffschicht oder Verschlackung im Generator, Verstopfungen in den Rohrleitungen, zu grosse Ansammlungen von Teer oder sonstigen Unreinigkeiten in den Reinigungsapparaten u. dgl. Eine gute Kontrolle für die Beurteilung, ob die Anlage in Ordnung ist, bieten auch hier Druckmessungen in der Rohrleitung, die direkt hinter dem Generator, hinter dem Skrubber und hinter den Reinigern vorzunehmen sind. Man bringt zu diesem Zweck an leicht für den Maschinisten sichtbarer Stelle drei auf einem Brett vereinigte Manometer an, die mit den vorerwähnten Stellen in Verbindung stehen. Aussergewöhnlich hohe Druckdifferenzen mahnen daher das Aufsichtspersonal daran, die Generatoranlage einer näheren Untersuchung zu unterziehen, damit keine Betriebsstörung eintritt.

Was nun schliesslich die Ökonomie der Gascentralen andern Systemen gegenüber anbetrifft, so liegen untrügliche Beweise aus der Praxis vor, die die Überlegenheit der ersteren, insbesondere wenn sie mit aus Braunkohlen erzeugtem Sauggas betrieben werden, beweisen, da, wie schon früher ausgeführt, die Ausnutzung des Brennmaterials eine erheblich bessere ist als z. B. in Dampfcentralen. Indessen der Brennmaterialverbrauch allein spielt in der Rentabilität einer Centrale nicht eine ausschlaggebende Rolle, weshalb es nicht angängig ist, ohne alle in Frage kommenden Verhältnisse in Betracht zu ziehen, ein allgemeines Urteil zu fällen. Für kleine Elektrizitätswerke bis etwa 1000 PS wird die Verwendung gut durchkonstruierter Gasmotoren in Verbindung mit Generatoranlagen in den meisten Fällen zweckentsprechend und vorteilhaft sein, für grössere Anlagen dagegen mehren sich die früher erwähnten Schwierigkeiten in erhöhtem Masse, so dass leicht der Fall eintreten kann, dass letztere und nicht die Wirtschaftlichkeit der Motoren für die Wahl der Betriebsart ausschlaggebend sind.

Ein weiterer zu beachtender Umstand ist der, dass es nicht zu empfehlen ist, Gasmotoren, die mit mehreren anderen parallel arbeiten sollen, mit Phasenstromdynamos direkt zu kuppeln, da die Parallelschaltung derartiger Gasdynamos wegen nicht genügender Zuverlässigkeit nicht angeraten werden kann. Bei Riemenübertragung ist die Anwendung von Phasenstromdynamos weniger bedenklich, doch kommen letztere für kleinere Anlagen kaum in Betracht, während für grössere Anlagen direkte Kupplung vorzuziehen ist.

Es werden daher im allgemeinen Gasmotoren nur für Gleichstromcentralen verwendet, besonders auch aus dem Grunde, weil hier die Aufstellung von Akkumulatoren allgemein üblich ist, die letzteren aber wiederum einen günstigen Einfluss auf die Ausnutzung der Gasmotoren ausüben. Da die Ökonomie sowohl der Gasmotoren, als auch der Generatoranlagen um so besser wird, je näher dieselben ihrer Normalleistung kommen, so wird man bestrebt sein müssen, die Motoren möglichst während ihrer ganzen Betriebsdauer voll zu belasten, was bei dem Vorhandensein genügend grosser Akkumulatorenbatterien sehr gut möglich ist.

Die Verbindung der Gasmotoren resp. Gasdynamos mit Akkumulatoren hat noch den weiteren Vorteil, dass plötzlich eintretende Steigerungen des

Energiebedarfes von den letzteren aufgenommen werden können, da, wie früher bemerkt wurde, Gasmotoren nur in verhältnismässig geringen Grenzen überlastet werden können, ohne zu versagen.

d) Die Kontrolle des Wasserkraftbetriebes.

139. Feststellung des verfügbaren Wasserquantums.

Da die Leistungsfähigkeit einer jeden Wasserkraftanlage begrenzt ist, so ist das Hauptaugenmerk der Betriebsleitung auf eine dauernd gute Ausnutzung der Wasserkraft zu richten. Ein jeder Flusslauf hat seine periodischen Schwankungen der Wassermenge, mit denen auch Gefällsänderungen, namentlich bei Wasserkraftanlagen mit kleinem Gefälle, verbunden sind.

Für die Betriebsleitung ist es von ausserordentlicher Wichtigkeit, die Perioden und die Grösse der Schwankungen möglichst genau kennen zu lernen, und es sind zu diesem Zwecke gewissenhaft durchgeführte tägliche Aufzeichnungen der Pegelstände vorzunehmen.

Die Pegel selbst bringt man überall dort an, wo ein Gefällsverlust stattfinden kann, und zwar vor wie hinter dieser Stelle. Als Ort für die Anbringung von Pegeln kommt in Frage das Stauwehr, der Einfluss des Oberwassergrabens, der Rechen, die Turbinenkammer sowie Anfang und Ende des Unterwassergrabens.

Bei Anlagen mit Stauweihern, durch die das während der geringen Belastung des Werkes überflüssige Wasser aufgefangen wird, um bei maximaler Leistung den normalen Wasserzufluss zu unterstützen und so die Leistungsfähigkeit des Werkes zu vergrössern, muss der Wasserstand im Weiher ständig kontrolliert werden. Diese Aufzeichnungen werden zweckmässig in Beziehung zu dem periodischen Verlauf der Belastung des Werkes gebracht.

Auf diese Weise erlangt die Betriebsleitung die erforderlichen Unterlagen, um erstens die Messungen, die vor der Erbauung des Werkes gemacht wurden, und die als Grundlage für die Berechnung des Werkes und seiner Leistungsfähigkeit dienten, auf ihre Genauigkeit zu prüfen, und zweitens, um rechtzeitig zu bestimmen, wann eine Erweiterung des Werkes eventuell durch Dampf- oder Gasanlagen notwendig wird.

Alle Wassermessungen sollten, wenn irgend möglich, für die verschiedenen auftretenden Wasserstände gemacht werden. Da diese Messungen um so schwerer durchführbar werden, je grösser die Wassermenge ist, so begnügt man sich in solchen Betrieben oft damit, die Resultate der Abnahmeprüfung der Turbinen der Berechnung mit der Gesamtwassermenge zu Grunde zu legen.

Zur Messung grösserer Wassermengen bedient man sich des hydrometrischen Flügels, auch Woltmannischer Flügel genannt. Derselbe besteht, wie Fig. 144 erkennen lässt, aus einem Schraubenflügel *a*, der Ähnlichkeit mit einer Schiffsschraube hat, und dem von dieser Schraube angetriebenen Zählwerke. Durch die am entgegengesetzten Ende angebrachten Leitflügel stellt sich der Apparat stets in die Stromrichtung ein. Die Umdrehungsgeschwindigkeit des Schraubenflügels ist annähernd proportional der Wassergeschwindigkeit. Damit man die Umdrehungen für einen gegebenen Zeitraum bestimmen kann, ist das Zählwerk ausschaltbar eingerichtet. Die Wassergeschwindigkeit ergiebt sich alsdann durch einfache Multiplikation der minutlichen Umdrehungszahl mit einer Konstanten.

Um schneller und sicherer arbeiten zu können, hat die Firma J. Amsler & Laffon und Sohn in Schaffhausen die Flügel mit einem elektrisch betätigten Zählwerk versehen derartig, dass nach je 100 Umdrehungen ein Läutewerk ertönt. Die Messung selbst wird an einer Stelle des Kanals, bei der die Profile des Kanals sich nicht ändern, und dessen Achse in gerader Linie verläuft, so vorgenommen, dass man in bestimmten seitlichen Abständen und Tiefen die Wassergeschwindigkeit mittels des Flügels feststellt.

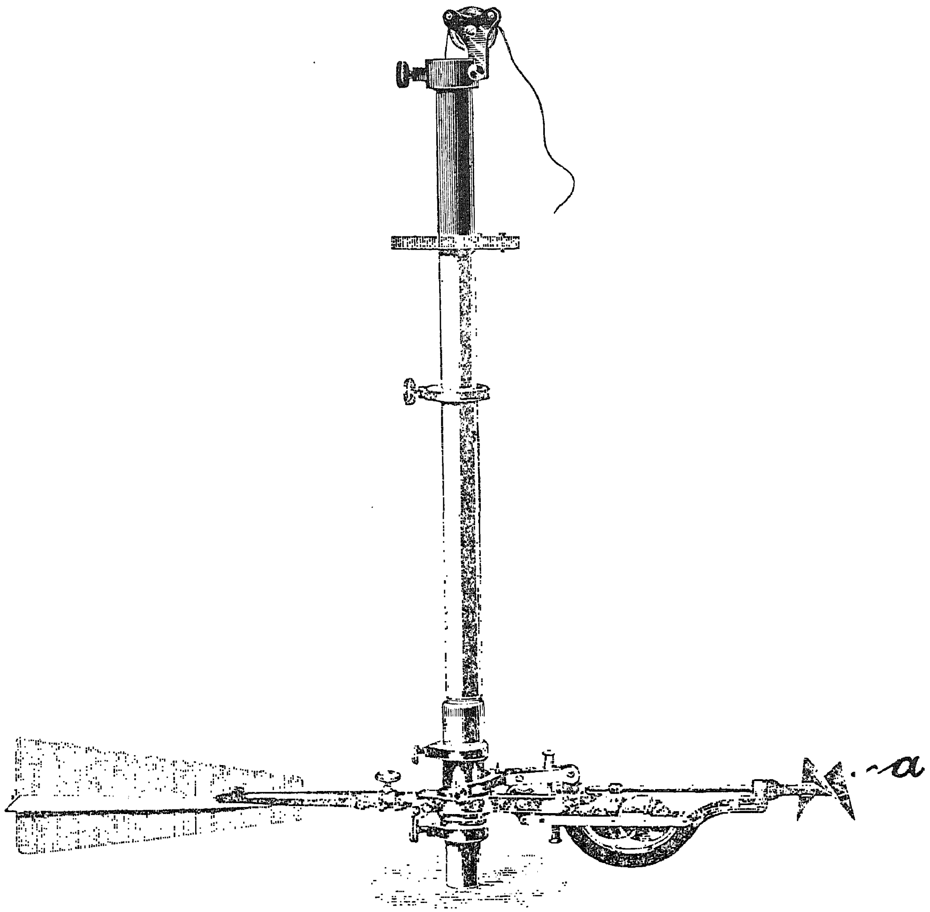


Fig. 144.

Bei Kanälen grosser Querschnitte wird zweckmässig ein Kahn benutzt, und der Flügel nach einem mit Marken versehenen Seil eingestellt. Bei kleineren Wasserläufen kann man eine Brücke schlagen, und von hier aus die Messung vornehmen.

Die Messresultate trägt man in das Profil des Kanals an den entsprechenden Stellen ein und findet auf diese Weise Flächen gleicher mittlerer Geschwindigkeit, aus denen die mittlere Geschwindigkeit des ganzen Profils und somit die pro Sekunde durch den Kanalquerschnitt fliessende Wassermenge bestimmt werden kann. Voraussetzung bei der Messung ist natürlich, dass der Beharrungszustand für die ganze Anlage während der Dauer der

Messung vorhanden ist, was leicht festgestellt werden kann, da wir in der Empfindlichkeit der elektrischen Messinstrumente ein sicheres Mittel für die Beurteilung besitzen, ob sich die Turbine in einem normalen Zustande befindet oder nicht.

Für die fortlaufenden Aufzeichnungen der Wasserstände haben sich registrierende Pegel sehr gut bewährt. Dieselben können so eingerichtet werden, dass die Aufzeichnungen der verschiedenen Pegel auf ein und demselben Registrierstreifen stattfinden und so ein übersichtliches Bild von der Gesamtänderung des zufliessenden Wassers geben.

Fig. 145 zeigt uns einen solchen Apparat für 4 Pegel. Links steht das Pegelrohr, in welches der Schwimmer eingebaut ist, damit derselbe von den Einflüssen der Wasserbewegung frei bleibt. Dieser Schwimmer betätigt mittels Übersetzung 3 Kontakte *a*, die beim Fallen oder Steigen der Schwimmer

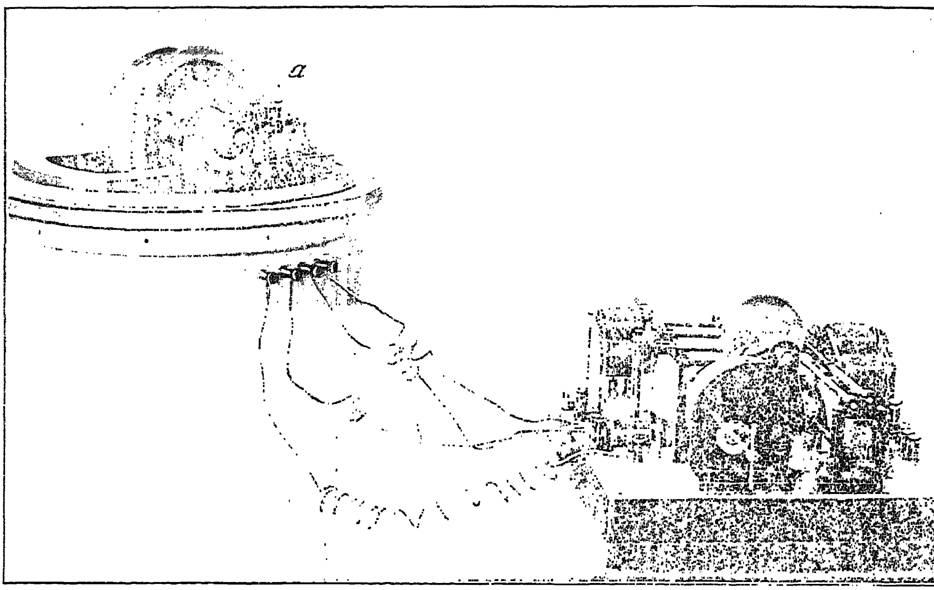


Fig. 145. Registrierender Pegel.

in verschiedener Weise hintereinander geschaltet werden. Einem jeden Kontakt entspricht am Schreibapparat (Fig. 146), eine entsprechende Spule *b*, welche in einem Dreieck angeordnet sind. Der Anker wandert von Spule zu Spule, wodurch auf eine Welle *c* eine drehende Bewegung ausgeübt wird, die ihrerseits wiederum den Schreibstift *d* hin- und herschiebt. Der Schreibstift zeichnet auf einem Papierstreifen, der über die Walze *e* läuft, den Pegelstand auf. Die Walze *e* wird durch ein Uhrwerk angetrieben, und die Zeit mit Hilfe des Hebels *f* durch periodisches Aufschlagen markiert.

140. Erhaltung des vollen Kanalquerschnitts.

Flussläufe, welche viel Geschiebe mit sich führen, machen eine periodische Kontrolle der Höhe der Ablagerungen durch Sondieren notwendig, da durch die Ablagerungen die normalen Verhältnisse des Flusslaufes stark beeinträchtigt werden. Durch den Einbau des Stauwehrs und die Strömung des Unterwassergrabens wird veranlasst, dass die Ablagerungen sich einmal immer mehr nach dem Einlauf des Oberwassergrabens hinziehen werden, und andererseits auch, dass der freie Abfluss des Unterwassers behindert wird.

Die Querschnittsveränderungen des Wasserzu- und -ablaufes können zur Folge haben, dass die Leistungsfähigkeit der Anlage zur Zeit der grössten Belastung ganz bedeutend vermindert wird, weshalb insbesondere eine Versandung des Oberwassergrabens verhütet werden muss. Bei eintretender Gefahr der Versandung ist durch rechtzeitiges Baggern schnellstens Abhilfe zu schaffen, sofern die Anlage nicht durch vorhandene Grundablässe und Kiesrinnen genügende Mittel besitzt, das Geschiebe durch periodisches Öffnen derselben abzuführen.

141. Unterhaltung der Wasserbauten.

Da Wasserbauten den ständigen Einflüssen des Wassers ausgesetzt sind, und das Sprichwort „steter Tropfen höhlet den Stein" ganz besonders hier seine Wahrheit beweist zum grössten Schaden des Werkes, so ist eine ständige Kontrolle der Baulichkeiten und besonders aller der Teile geboten, die durch Strömungen, Wirbel oder herabstürzende Wassermassen stark in

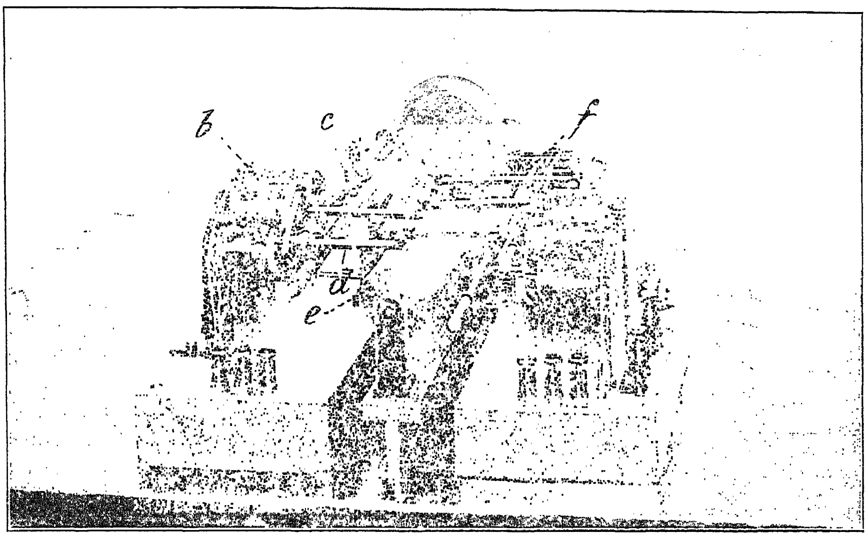


Fig. 146. Schreibapparat zum registrierenden Pegel.

Anspruch genommen und gefährdet werden. Holzkonstruktionen sind nicht nur an den gefährdeten Stellen, sondern generell innerhalb bestimmter Zeitabschnitte zu erneuern.

142. Abfangen mitgeführter Fremdkörper.

Um das Eindringen von Fremdkörpern in die Turbinen zu verhindern, ist jede Wasserkraftanlage mit einem Rechen ausgerüstet, dessen guter Zustand Grundbedingung für einen störungsfreien Betrieb ist.

Das Antreiben der Fremdkörper an den Rechen bewirkt eine Verminderung des freien Querschnittes desselben und somit eine Vergrösserung des Rechengefälles. Eine sachgemässe und häufige Bedienung des Rechens ist vor allem bei Anlagen mit geringem Gefälle geboten.

Die Kosten, die das Reinigen verursacht, sind unter Umständen sehr bedeutend, zumal wenn der Fluss viel Algen und Moos mit sich führt, die in einer Tiefe von einem Meter schwimmen und den Rechen ständig verstopfen.

Mechanische Reinigungsvorrichtungen haben sich bei Anlagen mit grösseren Wassermengen nicht bewährt, dieselben versagen vollständig bei Stromanschwellungen. Da die Stromanschwellungen durch plötzliche Schnee-

schmelzen oder durch grössere Niederschläge auf weit ausgedehnten Gebieten entstehen, und die Wasserläufe besonders im Frühling und Herbst Laub und Holz in grossen Mengen mit sich führen, so wird zu dieser Zeit soviel Material an den Rechen getrieben, dass es eines ungeheuren Kraftaufwandes bedürfen würde, um das angetriebene fortzuschaffen. Ausserdem würde eine mechanische Vorrichtung ständig der Gefahr ausgesetzt sein, sich zu verstopfen. Der mechanische Rechen müsste also für diese aussergewöhnlichen Fälle besonders kräftig konstruiert sein, was den Preis und den Betrieb der Anlage zu kostspielig gestalten würde.

Das gewöhnliche Betriebspersonal wird im allgemeinen nicht imstande sein, diese Arbeit zu bewältigen, weshalb für solche periodisch wiederkehrenden Fälle genügende Hilfsmannschaften bereit zu halten sind. Dieses kann z. B. geschehen durch Gründung einer Wasserwehr, indem man die Anwohner oder die Konsumenten verpflichtet, in solchen Notlagen gegen entsprechende Vergütung Hilfe zu leisten, bis die Gefahr vorüber ist.

Durch Einbau von Abweisbalken kann man den Zuzug des treibenden Gutes an den Rechen bedeutend verringern. Derartige Hilfsmittel werden am besten vor dem Einlauf des Oberwassergrabens angebracht. Man muss jedoch darauf achten, dass einmal die Balken tief genug, mindestens ein Meter, ins Wasser tauchen, damit das Schwemmgut nicht darunterwegschlüpft, und dass zweitens die Balken möglichst im Hauptstrom liegen, oder, wenn das nicht möglich ist, mit der Richtung des Betriebsstromes einen sehr spitzen Winkel bilden, damit alle Fremdkörper den Balken entlang gleiten können.

Sind an der Einmündungsstelle des Oberwasserkanals Schützen eingebaut, so kann durch dieselben bei entsprechend tiefem Eintauchen eine ähnliche abweisende Wirkung erzielt werden. Auch Grobrechen an dieser Stelle der Anlage können von grossem Nutzen sein.

Werke mit grossem Gefälle und geringer Wassermenge haben unter Stromanschwellungen weniger zu leiden, da die Stauweiher die andringenden Fluten aufnehmen. Der Rechen wird hier eine aussergewöhnliche Wartung kaum erfordern.

Bei diesen Anlagen hat man besondere Sorgfalt auf den guten Zustand des Rechens zu legen, da das Eindringen selbst kleiner Fremdkörper für die Turbine verhängnisvoll werden kann infolge der grossen Geschwindigkeit, die ihnen durch das Wasser erteilt ist, sowie wegen der kleineren Zwischenräume zwischen Leit- und Laufrad im Vergleich mit Anlagen von niedrigen Gefällen.

143. Schutzmittel gegen sonstige Gefahren. Mit zunehmender Grösse des Gefälles wird die Rohrleitung bei starken und namentlich plötzlich auftretenden Belastungsschwankungen besonders gefährdet, da hieraus unter Umständen gewaltige Wasserschläge resultieren, denen die Rohrleitung gewachsen sein muss.

Die geeigneten Schutzmittel gegen derartige Fälle bestehen in der Anbringung von Windkesseln und Standrohren, welche weiter keiner Wartung bedürfen, als dass die Windkessel auf hinreichenden Luftinhalt periodisch geprüft werden müssen. Sind Sicherheitsventile und Freiläufe als Schutz gegen Rohrbrüche gewählt, so sind dieselben von Zeit zu Zeit auf ihre Betriebsbereitschaft hin zu prüfen.

Durch Grundeis können beträchtliche Betriebsstörungen verursacht werden, die bedeutende Arbeitskräfte erfordern, weil für ständigen Abfluss des als breiige Masse andringenden Grundeises gesorgt werden muss, da andernfalls Turbinen und Oberwasserkanal einfrieren würden. Schnelles und energisches Eingreifen ist hier das sicherste Mittel, um derartigen Gefahren zu begegnen.

Des ferneren erfordern die Vorrichtungen für das Passieren von Fischen, Flössen und Kähnen besondere Aufmerksamkeit, weil von Seiten der Behörden hierüber eine scharfe Kontrolle geführt wird. Da die Fischer durchweg in dem Einbau von Wehranlagen eine beträchtliche Schädigung ihres Gewerbes erblicken, woraus oft kostspielige und langwierige Prozesse entstehen, so hat es einen sehr grossen Vorteil, den Nachweis zu erbringen, dass der Fischverkehr besonders in der Zeit des Flussaufwärtsziehens der Fische in keiner Weise gehindert wird.

Die gewöhnlichen Fischtreppen werden mit sehr gutem Erfolge insbesondere bei Wehranlagen mit geringer Höhe durch Fischpässe ersetzt, die einem Wildbache nachgebildet sind. Man gibt der Sohle derselben ein möglichst geringes Gefälle und baut grosse Steine ein, an denen sich das herabströmende Wasser bricht. Hinter jedem Steine wird in der Sohle eine Vertiefung vorgesehen, wo der Fisch eine Stelle mit geringerer Strömung vorfindet und sich zum weiteren Vordringen ausruhen kann, eine Anordnung, die sich sehr gut bewährt hat.

Eine Turbine ist weit weniger empfindlich als die meisten Wärmekraftmaschinen, und es genügt im allgemeinen, den normalen Zustand der Turbinen mit Hilfe der Angaben der elektrischen Messinstrumente zu kontrollieren. 144. Wartung der Turbinen.

Die Wartung der Turbinen beschränkt sich auf die Instandhaltung der Lager und der Reguliervorrichtung, sowie auf die Beseitigung von Verstopfungen und Verschlammungen der Kanäle des Leit- und Laufrades.

Turbinen mit vertikaler Welle haben gewöhnlich Vorrichtungen, welche die Zapfenlager entlasten, besonders wenn die Dynamomaschine auf derselben Welle sitzt, und sich das Gewicht des Rotors zu dem der Turbine addiert.

Als Entlastungsvorrichtung wird mit bestem Erfolg Pressöl benutzt, dessen Temperatur ständig zu kontrollieren ist, um ein durch Störungen in der Ölzufuhr herbeigeführtes Heisslaufen rechtzeitig zu erkennen und dessen Folgen vorbeugen zu können.

Das Pressöl wird von dem Spurlager durch ein Filter nach einem Sammelbehälter geleitet, woselbst ihm Gelegenheit gegeben werden muss, sich hinreichend abzukühlen. Von Zeit zu Zeit ist das Öl durch frisches zu ersetzen und das alte zu reinigen; denn die Lebensdauer der Spurlager hängt wesentlich von der Güte des Öles ab.

Findet die Übertragung von der Turbinenwelle auf die Dynamomaschine mittels Kammräder statt, so ist den letzteren besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Als Schmiermittel für Kammräder hat sich Graphit vorzüglich bewährt. Beim Ersatz abgenutzter Zähne wähle man nur allerbestes Holz aus und passe dieselben sorgfältigst ein.

Führt das Wasser viel feinen Sand mit sich, so findet eine merkliche Abnutzung der Schaufeln sowie der Leit- und Laufräder statt, was sich besonders bei Bimsstein führenden Gewässern sehr bald bemerkbar macht.

e) Die Kontrolle des elektrischen Teiles der Anlage. 145. Wartung und Aufrechterhaltung des normalen Stationsbetriebes.

Bei einem Elektrizitätswerk ist die Wartung des elektrischen Teiles der Centralstation unter normalen Verhältnissen im Vergleich zu der erforderlichen Bedienung jeder Art von Antriebsmaschinen äusserst einfach und minimal und daher mit wenig Hilfspersonal auszuführen. In erster Linie umfasst

dieselbe die Betätigung der Schalter für das Ein- und Ausschalten der Stromquellen an der Schalttafel sowie die Regulierung der Spannung mit Hilfe der Regulatoren, worüber bereits ausführlich im ersten Teil dieses Bandes, S. 94, berichtet worden ist.

Bei Gleichstromwerken verursacht die Bedienung der Kommutatoren und der Akkumulatoren einige Aufmerksamkeit. Über die Ursache des Feuerns und die funkenlose Einstellung der Schleifbürsten an den Generatoren und Motoren sind im ersten Teil dieses Bandes, S. 166, einige Hinweise gegeben. Vielfach findet man, dass neue Maschinen zu Anfang eine aussergewöhnlich starke Funkenbildung zeigen, welche nach einigen Wochen des Betriebes vollkommen zu verschwinden pflegt. Die Ursache ist fast immer in einem kaum wahrnehmbaren Vorstehen der Glimmerisolation zwischen den Kollektorlamellen zu suchen und wird am schnellsten beseitigt, wenn der Kommutator im warmen Zustande mehrere Male sorgfältig abgeschliffen wird.

Auf dauernde Reinhaltung der Maschinen und Apparate, insbesondere bei Hochspannungsanlagen, ist grosser Wert zu legen, denn Staub und Schmutz dringen in die kleinsten Poren und Risse der Isolation ein und verursachen im Laufe der Zeit Kurzschluss, was unter Umständen eine Störung des gesamten Stationsbetriebes zur Folge haben kann.

Staubartiger Schmutz wird zweckmässig mit Hilfe eines Pressluftgebläses entfernt, indem die in einem Kompressor (Fig. 147) erzeugte Druckluft mit Hilfe eines an einem Gummischlauche befestigten Mundstückes gegen alle Teile der Maschinen und Apparate geleitet wird. Der haften gebliebene Schmutz wird sorgfältigst abgewischt.

Da die Isolierlacke durch die Einwirkung der Luft und durch Temperaturwechsel im Laufe der Zeit Risse bekommen und ihre schützende Eigenschaft verlieren, was durch die mechanische Beanspruchung beim Reinigen noch erhöht wird, so erfordert die Erhaltung eines störungsfreien Betriebes eine periodische Erneuerung des Anstriches, natürlich nach vorgängiger gründlicher Reinigung.

Nach solchen Auffrischungsarbeiten wird der Isolationszustand vor der Wiederinbetriebnahme geprüft, was bei Hochspannungsanlagen am zweckmässigsten durch eine Durchschlagsprobe mit wesentlich erhöhter Spannung erfolgt.

Nicht nur nach derartigen Gewaltproben, sondern auch nach auftretenden Defekten aus anderer Ursache ist Ersatzmaterial schnellstens zu beschaffen. Da ein solches jedoch in den seltensten Fällen beim Lieferanten vorrätig sein wird, so kann nicht dringend genug empfohlen werden, hinreichendes Reservematerial selbst auf Lager zu halten.

In erster Linie müssen fertige Ankerspulen oder Stäbe und isolierter Draht für Magnetspulen, Transformatoren u. s. w. in Reserve gehalten werden, sodann Teile, welche einer hohen Abnutzung unterworfen sind, wie z. B. die Kontakte der Schalter und die Schleifbürsten von Maschinen, seien es nun solche aus Metall oder Kohle.

Wirkungsgrad- und Leistungsmessungen an elektrischen Maschinen und Transformatoren sind namentlich dann vorzunehmen, wenn es sich um Abnahmeversuche handelt, oder wenn diese Messungen die Grundlage zur Beurteilung der Leistung der Antriebsmaschinen bilden.

Die Leistungsfähigkeit einer elektrischen Maschine oder eines Transformators wird in erster Linie begrenzt durch die Temperaturzunahme infolge

des in Wärme umgesetzten Effektverlustes, bei Gleichstrommaschinen allerdings in hervorragendem Masse auch noch durch die Funkenbildung am Kommutator. Die Begrenzung der Leistung nach dem Mass der Erwärmung hat seinen Grund darin, dass die als Isolation von elektrischem Leitungsmaterial dienenden Faserstoffe und Imprägnierungsmittel gewöhnlich keine höhere Temperatur als etwa 100—110° C. dauernd vertragen können, ohne in ihrer Wirksamkeit ungünstig verändert zu werden.

Je mehr es daher gelingt, die Wärme am Entstehungsort sofort in hinreichender Weise abzuführen, um so mehr lässt sich auch die Leistung steigern. Es bietet also unter keinen Umständen, wie ehemals vielfach beliebt, die

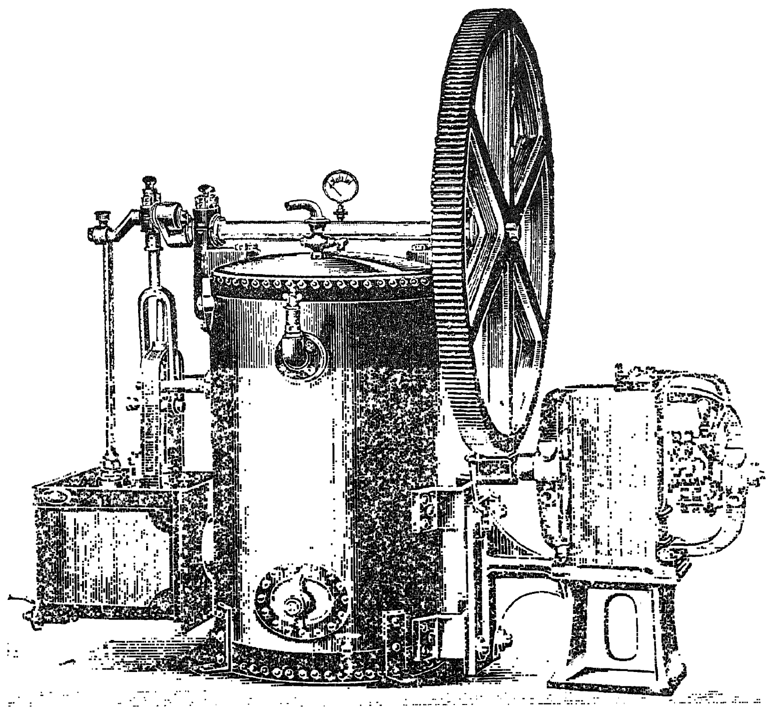


Fig. 147. Luftkompressor der Nürnberger Feuerlöschgeräte- und Maschinenfabrik vorm. Justus Christian Braun A.-G.

Strombelastung pro Querschnittseinheit einen Massstab für die Grenze der Leistung, da die Abkühlungsverhältnisse der verschiedenen Betriebsmittel zu verschiedene sind.

Die Normalien für Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen und Transformatoren des Verbandes Deutscher Elektrotechniker setzen in § 18 als zulässige Grenze der Temperaturzunahme, sofern die Lufttemperatur 35° C. nicht übersteigt, fest: bei Baumwollisolierung 50° C., bei Papierisolierung 60° C., bei Glimmer, Asbest und deren Präparaten 80° C. Diese Werte dürfen bei ruhender Wickelung um 10° C. überschritten werden. Ferner ist für die Erwärmung der Kommutatoren eine maximal zulässige Übertemperatur von 60° C. festgesetzt.

Je grösser die Metallmassen der elektrischen Betriebsmittel sind, um so grösser ist auch deren Wärmekapazität, und um so längere Zeit dauert es, bis der Beharrungszustand eingetreten ist, d. h. bis die pro Zeiteinheit in

Wärme umgesetzte Energie gleich der abgeleiteten ist. Die aus der Erwärmung abgeleitete Grenze der Leistungsfähigkeit muss also mit der Zeitdauer der Belastung in Einklang gebracht werden. Man unterscheidet deshalb die Betriebe in intermittierende, kurzzeitige und Dauerbetriebe. Die letzteren beiden Betriebsarten kommen für Elektrizitätswerke fast ausschliesslich in Betracht. Was als kurzzeitig gelten soll, muss auf dem Leistungsschild vermerkt bezw. vorher vereinbart worden sein. Bei Maschinen für Dauerbetrieb findet die Temperaturmessung nach Ablauf von zehn Stunden statt, dagegen bei ruhenden Transformatoren erst nach Ablauf jener Betriebszeit, welche nötig ist, um die stationäre Temperatur zu erreichen.

Die Leistungsmessung soll sich auf die abgegebene Leistung beziehen und wird bei Phasenstrom nur mit Hilfe von Wattmetern vorgenommen. Bei Gleichstrom kann die Leistung aus der Einzelmessung von Stromstärke und Klemmenspannung ermittelt werden.

In den seltensten Fällen genügt jedoch bei Abnahmeversuchen die einfache Feststellung der Leistungsfähigkeit, vielmehr ist auch der Wirkungsgrad, sowie das Verhalten bei den speziell vorliegenden Betriebsverhältnissen, wie z. B. das Arbeiten mit erhöhter Spannung zum Laden von Akkumulatoren oder zum Betrieb vieler kleiner Motoren, also bei schwankender Belastung und bei Phasenstromanlagen noch bei schlechtem Leistungsfaktor zu prüfen.

Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis der abgegebenen zur zugeführten Leistung und hat sich stets auf die dem normalen Betriebe entsprechende Erwärmung zu beziehen. Über die speziellen Methoden der Prüfung vgl. Normalien des Verbandes Deutscher Elektrotechniker.

Nicht unwesentlich zur Beurteilung der Güte von Stromerzeugern ist das Verhalten der Klemmenspannung derselben bei Änderung der Belastung oder der Phasenverschiebung, denn ein Stromerzeuger bedarf zur Konstanterhaltung der Gebrauchsspannung um so mehr Bedienung, je mehr sich seine Klemmenspannung mit der Stromstärke ändert. Auch über diese Art der Untersuchung geben die Normalien erschöpfende Auskunft. Im allgemeinen ist Wert auf geringe Spannungsänderung zu legen. Bei Maschinen für Wechselstrom und Transformatoren, die gleichzeitig zum Betrieb von Lampen und Motoren dienen, ist diese Untersuchung auch bei einem in der Phase gegen die Spannung verschobenen Strom vorzunehmen.

Auch die Ermittelung der Kurzschlusscharakteristik und der Kurzschlussstromstärke bei normaler Tourenzahl und Erregung giebt wertvolle Anhalte zur Beurteilung von Wechselstrommaschinen als Ergänzung der Prüfung auf Spannungsänderung.

Früher wurde von manchen Seiten die Ansicht vertreten, es sei vorteilhaft, wenn Wechselstrommaschinen so viel Selbstinduktion besässen, dass bei Kurzschluss die Stromstärke nur um weniges über den normalen Betrag ansteigt, weil alsdann bei Störungen im Betriebe durch Kurzschlüsse auch die Wirkungen derselben wesentlich abgeschwächt werden. Eine Stromquelle jedoch so zu bauen, dass sie gleichzeitig als Sicherung gegen Betriebsstörungen dient, und dafür die Unzuträglichkeiten von erheblichen Spannungsschwankungen in den Kauf zu nehmen, sobald die Stromstärke sich ändert, dürfte heute wohl allgemein als unzweckmässig angesehen werden. Gegen Störungen schützt man sich am besten durch sicher wirkende entsprechende Apparate und nicht durch eine Verschlechterung seiner Maschinen.

Die Bedienung der Akkumulatoren erstreckt sich auf Ersatz der verdunsteten und der bei der Ladung durch die aufsteigenden Gasblasen mit in die Luft gerissenen Flüssigkeit und auf eine häufige Kontrolle der Säuredichte der einzelnen Zellen, um etwa aufgetretene Fehler derselben rechtzeitig entdecken und beseitigen zu können.

Die Konzentration der Säure in den Elementen in vollgeladenem Zustande soll eine bestimmte, vom Lieferanten der Batterie vorgeschriebene sein. Ob dieselbe sich im Laufe der Zeit geändert hat, erkennt man an den Aräometerangaben nach vollständig beendigter Ladung. Ist der vorgeschriebene Wert der Säuredichte nicht vorhanden, so wird unter der Voraussetzung, dass sich dieses auf die ganze Batterie erstreckt, als Ersatzflüssigkeit verdünnte Schwefelsäure genommen, besitzt dagegen die Säure die vorgeschriebene Konzentration, so wird nur destilliertes Wasser nachgefüllt.

Da im allgemeinen sämtliche Zellen gleichen Verhältnissen in bezug auf Verdunsten der Flüssigkeit unterworfen sind, was übrigens durch Abdecken der Elemente mittels Glasplatten bedeutend eingeschränkt werden kann, so werden im normalen Zustande auch sämtliche Zellen die gleiche Art der Nachfüllflüssigkeit benötigen. Alle Abweichungen geben zu der berechtigten Vermutung Anlass, dass die betreffende Zelle fehlerhaft ist. Um diese Abweichungen verfolgen und konstatieren zu können, müssen die am Aräometer abgelesenen Werte für jede einzelne Zelle fortlaufend notiert werden.

Ein Zurückbleiben der Säuredichte deutet auf einen Kurzschluss innerhalb der Zelle hin, der meistens verursacht ist durch eine Überbrückung des Zwischenraumes zwischen zwei benachbarten Platten. War herausgefallene aktive Masse die Ursache des Kurzschlusses, so wird der Fehler durch vorsichtiges Durchstossen mit einem Hartgummi- oder imprägnierten Holzstäbchen beseitigt. War jedoch eine zu stark gekrümmte Platte die Ursache, so muss durch Zwischenschieben von Glasröhren oder durch Geraderichten der betreffenden Platte der fehlerhafte Kontakt aufgehoben werden. Nachweisen lässt sich ein Kurzschluss in den Zellen auf einfache Weise mit Hilfe einer kleinen Magnetnadel (Kompass), welche über die stromdurchflossenen Platten langsam hinweggeführt wird. An der mit Kurzschluss behafteten Platte stellt sich die Nadel sofort anders ein.

Für die Erhaltung der vollen Kapazität sowie für die Lebensdauer der Akkumulatoren ist es von Wichtigkeit, dass die Säure in den Elementen stets rein bleibt. Namentlich geben schon geringe Beimengungen von Eisen und Chlor zu Störungen Anlass. Es ist daher nicht nur die Nachflüssigkeit auf Reinheit zu untersuchen, sondern auch von Zeit zu Zeit die Säure in den Elementen, da es nicht ausgeschlossen ist, dass durch Unvorsichtigkeit Fremdkörper, wie namentlich Werkzeug, in die Zellen gelangt sind.

Zur Vornahme von Säureuntersuchungen pflegen die Akkumulatorenlieferanten eine kleine Prüfeinrichtung mitzuliefern, bestehend aus einigen Reagenzgläsern und den erforderlichen Chemikalien, wie Salpetersäure, Höllensteinlösung und Ammoniak.

Die Untersuchung auf Chlor wird in der Weise vorgenommen, dass der durch ein Reagenzgläschen abgefüllten Nachfüllflüssigkeit einige Tropfen schwachsaure Höllensteinlösung zugesetzt werden, worauf man das Gemisch schüttelt, jedoch ohne die Haut seines Körpers mit der Flüssigkeit in Berührung zu bringen, da die Hände meistens Spuren von Chlor enthalten. Bleibt nach diesem Verfahren die Flüssigkeit durchsichtig und klar, so enthält dieselbe kein Chlor, tritt

dagegen eine Trübung ein, so ist die Nachfüllflüssigkeit zu verwerfen. Säure aus den Elementen lässt sich in dieser einfachen Weise nicht auf Chlor untersuchen, weshalb man im Bedarfsfalle dieses durch einen Chemiker ausführen lässt.

Ausser der Untersuchung auf Chlor ist noch die qualitative Untersuchung von Säure aus den Elementen auf Eisen von Wichtigkeit. Zu diesem Zwecke wird wiederum ein Reagenzglas etwa bis zur Hälfte mit der zu prüfenden Säure gefüllt, und nun ganz allmählich Ammoniak zugesetzt, bis die Flüssigkeit nach Ammoniak riecht. Da bei dieser Mischung starke Wärmeentwickelung auftritt, so wird das Reagenzglas am unteren Teil unter die Wasserleitung gebracht und vorsichtig gekühlt. Enthält die Säure viel Eisen, so bildet sich ein schlammiger, gelblich rostartiger Niederschlag.

Sind alle Vorsichtsmassregeln beobachtet, und ist die Batterie vorschriftsmässig und nicht über Gebühr in Anspruch genommen worden, so wird leider damit der allmähliche Verfall der Platten nicht aufgehoben. Man muss sich mit dem Gedanken vertraut machen, dass die negativen Platten etwa alle 3—5 Jahre und die positiven Platten etwa nach der doppelten Zeit erneuert werden müssen. Die sorgfältige Wartung bietet nicht einmal die Gewähr, dass die eine oder andere Batterie nicht etwa vor der Zeit verfällt. Ein Akkumulator ist wie ein Organismus: manche bringen eine schleichende Krankheit mit auf die Welt und gehen im besten Alter zu Grunde.

Gegen derartige pekuniären Nachteile kann man sich nur durch Versicherung seiner Batterie schützen, indem man mit dem Lieferanten einen Unterhaltungsvertrag abschliesst. Die Form eines solchen Vertrages wird meistens so gewählt, dass der Lieferant gegen eine feste Jahresgebühr die Verpflichtung übernimmt, die Kapazität der Batterie innerhalb eines Zeitraumes von zehn Jahren auf seine Kosten auf der normierten Höhe zu erhalten. In neuerer Zeit ist eine Modifikation dieser Vertragsbestimmungen insofern beliebt geworden, als die Höhe der fälligen Jahresgebühr in Abhängigkeit von der erfolgten Beanspruchung der Batterie gebracht wird unter Festsetzung eines Mindestgebührensatzes.

Gegen Ende der Ladung beginnt an den negativen und positiven Platten in erheblicher Menge Sauerstoffgas und Wasserstoffgas sich zu entwickeln, welche infolge des geringen spezifischen Gewichtes schnell emporsteigen und Säurepartikelchen mit in die Luft führen. Diese in der Luft schwebende Säure schlägt sich an allen festen Körpern, wie Gehängen, Leitungen, Gebäudeteilen u. s. w. nieder, weshalb alle diese Teile gegen die zerstörende Einwirkung der Säure zu schützen sind.

Wände und Fussböden werden am vorteilhaftesten durch säurefeste Steine, und die übrigen Teile durch einen Emaillefarbenanstrich geschützt. Die schützende Wirkung eines solchen Anstriches hält jedoch nur für eine gewisse Zeit vor, weshalb der Anstrich periodisch erneuert werden muss, bevor sich die Säure durch den Anstrich hindurchgearbeitet hat, und das Ansetzen von schwefelsauren Salzen auftritt.

Je intensiver die Ventilationseinrichtungen wirken, um so geringer ist zwar die Gefahr, dass die Säuredünste im Akkumulatorenraum Unheil anrichten, um so mehr wird jedoch die Nachbarschaft durch Säure belästigt. Es ist aus diesem Grunde zu empfehlen, das Mitreissen von Säure in die Luft durch Abdecken der Elemente mit Glasplatten auf ein Mindestmass zu reduzieren und sonst den leichten Gasen hinreichende Abzugskanäle durch die Schornsteine und Fenster zu bieten.

Um das Wärterpersonal vor der unangenehmen Einwirkung der Säure auf die Schleimhäute zu schützen, werden denselben Respiratoren geliefert, die während des Aufenthaltes in den säuregeschwängerten Räumen zu tragen sind.

Durch Vermischen des sich bildenden Wasserstoffgases mit der Luft entsteht das explosible Knallgas, und es ist streng darauf zu achten, dass sich während der Überladung keine offenen Flammen oder glühenden Körper in den Akkumulatorenräumen befinden. Es sind insbesondere Lötarbeiten, weil am häufigsten vorkommend, während dieser Zeit zu unterlassen.

Die Leistungsfähigkeit der Akkumulatorenbatterie soll dauernd in dem nominellen Umfange erhalten bleiben. Die Ermittelung der Leistungsfähigkeit erfolgt durch Kapazitätsproben, welche möglichst alle Vierteljahre zu wiederholen sind.

Unter Kapazität einer Akkumulatorenbatterie wird in der Technik nicht diejenige Energiemenge verstanden, welche der Akkumulator überhaupt aufgespeichert enthält, sondern nur derjenige Betrag, nach dessen Entnahme die Klemmenspannung noch einen bestimmten Wert anzeigt, und welcher, ohne dass der Akkumulator Schaden leidet, im regelmässigen Betriebe täglich entnommen werden darf, deren richtige Bemessung daher in erster Linie Sache des Fabrikanten ist.

Meistens wird der zulässige Spannungsabfall normiert, welcher bei der Entladung auftritt, und der bei den meisten Typen 0·15 Volt pro Zelle beträgt. Da die Klemmenspannung von der Stromstärke abhängig ist, so gilt dieser Wert bei normaler Entladestromstärke. Soll der Spannungsabfall der einzelnen Zelle aus der gemessenen Klemmenspannung der ganzen Batterie am Anfang und am Ende der Entladung und aus der Anzahl der eingeschaltet gewesenen Zellenzahl ermittelt werden, so müssen die Spannungsverluste in den Verbindungsleitungen berücksichtigt werden. Eine weitere Kontrolle über die dem Akkumulator entnommene Energiemenge ist durch Beobachtung des Säurestandes zu Anfang und Ende der Entladung gegeben.

Sind alle diese Merkmale zur Ermittelung der Kapazität der Batterie in vorschriftsmässiger Weise beobachtet, so ist dadurch zwar die Grösse der momentan vorhandenen Kapazität bestimmt worden, jedoch nicht unter allen Umständen auch diejenige, welche die Batterie bei ausgiebigem, regelmässigem Gebrauch wahrscheinlich aufweisen würde, da auf die Grösse der ermittelten Kapazität noch der Zustand des aktiven Bleies auf den Platten einen nennenswerten Einfluss ausübt.

Durch den regelmässigen Gebrauch des Akkumulators lockert sich nämlich die aktive Bleimasse auf und wird aufnahmefähiger für die elektrische Energie. Ruht der Akkumulator längere Zeit, so schrumpft die Masse zusammen und wird weniger leistungsfähig. Damit nun eine zu geringe Benutzung des Akkumulators, auf welche der Lieferant nicht den mindesten Einfluss hat, diesem nicht insofern zum Nachteil angerechnet wird, als derselbe für eine unmittelbar nach einer längeren Ruhepause konstatierte zu geringe Kapazität haftpflichtig gemacht wird, ist es erforderlich, vor jeder massgebenden Kapazitätsprobe die aktive Bleimasse aufzulockern, was durch Überladen erreicht wird.

Nachstehend sind die zwischen der Vereinigung der Elektrizitätswerke und den Akkumulatorenfabrikanten vereinbarten Bestimmungen über Untersuchungen und Kapazitätsproben von Akkumulatorenbatterien aus den Lieferungsbedingungen im Wortlaut wiedergegeben.

„Vor der Kapazitäts- und Wirkungsgradsprobe muss eine Aufladung mit Ruhepausen stattfinden. Die Aufladung mit Ruhepausen erfolgt in der Weise, dass man die Batterie bis zur lebhaften Gasentwickelung an den positiven und den negativen Platten lädt. Alsdann schaltet man die Batterie eine Stunde lang aus, lädt dann wieder mit halber Ladestromstärke bis zur Gasentwickelung in der vorbezeichneten Weise und schaltet wieder eine Stunde lang aus. Dieses Verfahren wiederholt man so lange, bis sofort nach Einschaltung des Ladestromes lebhafte Gasentwickelung an den positiven und negativen Platten beginnt.

Hierauf nimmt man im normalen Betriebe eine gewöhnliche Entladung vor, alsdann wird die Batterie normal geladen, und zwar bis zur lebhaften Gasentwickelung an den negativen und positiven Platten, wobei die Stromstärke, Spannung und Gasentwickelung genau zu beobachten sind. Hierauf erfolgt eine Entladung mit (normalen) Ampere, bis die garantierte Kapazität entnommen ist resp. bis zu einer Spannung am Ende der Entladung von ....[1]) Volt per Element berechnet, worauf alsdann die Wiederladung erfolgt. Diese Wiederladung muss mit normaler Stromstärke vorgenommen und bis zur Erreichung der gleichen Spannung und Gasentwickelung fortgesetzt werden wie bei der vorangegangenen normalen Ladung. Der Quotient aus der letzten Entladung in Amperestunden bezw. Wattstunden und der letzten Ladung in Amperestunden bezw. Wattstunden ergiebt den Wirkungsgrad in Amperestunden bezw. Wattstunden.

Für die Ermittelung des Wirkungsgrades in Wattstunden sind nur die auf die Batterie allein bezüglichen Arbeitswerte zu verwenden. Es sind daher alle Verluste in den Leitungen, und zwar sowohl in denjenigen zur Verbindung der einzelnen Elementgruppen unter sich, als auch in denjenigen zur Verbindung der Batterie mit dem Schaltbrett, entweder auszuschliessen, oder zu messen und entsprechend zu berücksichtigen.

Falls nach der Inbetriebsetzung sofort mit der Kapazitäts- und Wirkungsgradsprobe begonnen wird, ist die vorherige Aufladung mit Ruhepausen nicht nötig.“

146. Massnahmen zum Schutze des Personals. In jedem Betriebe sind Massnahmen zum Schutze des Personals zu treffen,[2]) um dasselbe vor den Gefahren des Betriebes zu bewahren. Zu diesen Massnahmen gehören die Beschaffung von Schutzmitteln und eine Unterweisung der Leute, damit dieselben wissen, wo besondere Gefahren bestehen, und wie man sich am besten dagegen schützt, sowie welche Schritte zu tun sind, wenn ein Unglück eingetreten ist.

Zu den Schutzmitteln[3]) gehören unter anderen die Umfriedigung der Maschinen, Riemen und Gruben mit Schutzgeländer, die Umkleidung vorstehender Teile wie Federn, Keile, Kurbeln u. s. w. von rotierenden Wellen durch eine feststehende oder mitrotierende Kappe oder durch ein Schutzblech, das Anbringen von Fussleisten an Vertiefungen u. s. w. Ferner die Lieferung von Respiratoren, Schutzbrillen, Schutzanzügen, Gummihandschuhen zur Benutzung bei bestimmten gefahrvollen Arbeiten. Für den elektrischen Betrieb kommen speziell in Frage die Abschliessung blanker, Hochspannung führender Leitungen und Apparate gegen zufällige Berührung, die zweckmässig dadurch

1) Zahl wird vom Fabrikanten angegeben.

2) Vgl. Sicherheitsvorschriften für den Betrieb elektrischer Starkstromanlagen.

3) Vgl. Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik.

verhütet wird, dass die Apparate in einem unter Verschluss gehaltenen Raume untergebracht werden, welcher nur besonders instruiertem und beauftragtem Personal zugänglich gemacht wird, oder die unzugängliche Montage solcher gefährlichen Teile. Ferner die Erdung aller zur Stromleitung nicht dienenden Metallteile, insbesondere solcher, welche bei Isolationsdefekten in Kontakt mit den Leitungen kommen können und der Berührung ausgesetzt sind.

Die Unterweisungen erstrecken sich einmal auf allgemeine Hinweise auf bestehende Gefahren durch Warnungstafeln, und andererseits auf genaue Dienstanweisungen für die mit Gefahren verbundene Handhabung bestimmter Betriebsmittel, ferner auf Anleitung für die Behandlung Verletzter. Damit diese ausgeübt werden kann, sind die erforderlichen gebräuchlichsten Medikamente und Verbandstoffe bereit zu halten.

Des weiteren gehört in jede Anlage ein genaues Schaltungsschema, einmal, um sich eingehend über alle Leitungen und vorzunehmenden Schaltungen orientieren zu können, und sodann, um bei Störungen sicher entscheiden zu können, welche Verbindungen zulässig und welche nicht zulässig sind.

Bei allen Arbeiten am elektrischen Teil der Anlage und insbesondere bei Hochspannungsanlagen gilt als Hauptregel, normalerweise nur nach vorgängiger Abschaltung, Kurzschliessung und direkter Erdung des betreffenden Teiles arbeiten zu lassen. In den allermeisten Fällen ist die Erfüllung dieser Forderung auch möglich, ohne den Betrieb zu stören.

Für Ausnahmen schreiben die Sicherheitsvorschriften für den Betrieb elektrischer Starkstromanlagen vor, dass alsdann der Betriebsleiter oder ein von ihm besonders Beauftragter bei den Arbeiten zugegen sein soll und die Leitung und volle Verantwortung selbst zu übernehmen hat.

Die Kurzschliessung des abgeschalteten Teiles ist eine Vorsichtsmassregel, welche schon vielfach Unglück verhütet hat. Sofern nämlich alsdann durch ein Missverständnis, eine irrtümliche Schaltung oder durch einen Betriebsunfall der unter Arbeit stehende Teil trotzdem unter Spannung gesetzt wird, entsteht in diesem Falle Kurzschluss, und die betreffenden Sicherheitsschalter schalten den Teil wieder automatisch ab. Damit hierbei auch eine diesen elektrischen Teil berührende, unisoliert stehende Person ungefährdet bleibt, soll ausser der Kurzschliessung noch eine Erdung des betreffenden Betriebsmittels vorgenommen werden.

Sehr zweckmässig ist es, sich über die Wirksamkeit der Erdung genau Klarheit zu verschaffen, denn die Sicherheitsvorschriften geben nicht die Mittel an, wie der Forderung, die Berührung Spannung führender Teile durch Erdung gefahrlos zu machen, sicher entsprochen werden kann.

Eine Gefährdung der Person liegt dann vor, wenn deren Körper von einem hinreichend starken Strome durchflossen wird. Im allgemeinen nimmt man an, dass eine Gefahr für die Gesundheit bereits bei einer den Körper durchfliessenden Stromstärke von etwa 0·03—0·1 Amp. besteht, doch ist die Empfindlichkeit gegen elektrische Ströme nicht bei allen Menschen dieselbe. Soll die Erdung also einen wirksamen Schutz bieten, so muss durch dieselbe verhindert werden, dass durch den Körper der eine geerdete Leitung berührenden Person jemals mehr als 0·03—0·1 Amp. fliessen können.

Sehen wir von den Kapazitätsströmen ab, so kann durch den Körper einer Person, welche eine unter Spannung stehende Leitung an einer einzigen Stelle berührt, nur dann ein Strom zirkulieren (Fig. 148), wenn ein anderer Punkt des Stromsystems, sei es der andere Pol oder ein Punkt der Wicklung

eines eingeschalteten Apparates mit dem Stützpunkt dieser Person in leitender Verbindung steht.

Bezeichnen wir mit E die Netzspannung, mit W den Widerstand des berührten Poles gegen den Standpunkt der Person und die hierzu gehörige Spannungsdifferenz mit e, ferner den Widerstand des nicht berührten Poles gegen den Standpunkt der Person mit w_1 und die zugehörige Klemmenspannung mit e_1, ferner den Widerstand der berührenden Person mit R und die den Widerstand w_1 durchfliessende Stromstärke mit i_1, so gelten folgende Beziehungen:

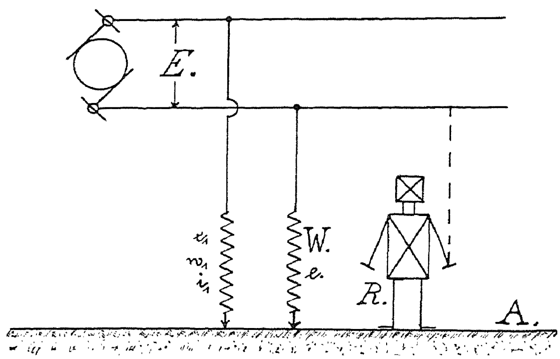


Fig. 148.

$$E = e + e_1,\quad e_1 = E - e$$

$$\frac{e_1}{w_1} = i_1 = \frac{E}{w_1 + \frac{W \cdot R}{W + R}}$$

und daraus:

$$e = E - \frac{E \cdot w_1}{\frac{W \cdot R}{W + R} + w_1}$$

Der Widerstand des menschlichen Körpers ist je nach dem Zustande der Haut zwar sehr verschieden, namentlich nach längerer Einwirkung von Feuchtigkeit und beim Hantieren mit Chemikalien kann derselbe einen äusserst geringen Wert annehmen, doch wird man die Verhältnisse entsprechend den Sicherheitsvorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker im allgemeinen noch als zulässig ansehen dürfen, wenn die für die berührende Person in Frage kommende Spannung e unter keinen Umständen einen höheren Wert als 250 Volt annehmen kann.

Solange der Widerstand des Erdschlusses im Vergleich zu dem des menschlichen Körpers einen verschwindend kleinen Wert besitzt, kann man den letzteren im allgemeinen in der Rechnung unberücksichtigt lassen, wonach die Grösse der gefährlichen Spannung lediglich vom Verhältnis der Erdschlüsse beider Pole abhängig wird. Unter dieser Einschränkung berechnet sich die Spannung e zu:

$$e = E - \frac{E \cdot w_1}{W + w_1}.$$

Rechnet man, dass der berührte Pol einen Erdwiderstand W von etwa 5 Ω aufweist, so ergeben sich für verschiedene Werte von w_1 die nachstehend angeführten Grössen, wobei E zu 500 Volt angenommen ist.

$w_1 =$	5	50·0	500	5000	Ω
$e =$	250	45·5	5	0·5	Volt
$i =$	50	9·1	1	0·1	Amp.

Hierbei bedeutet i die den Erdwiderstand W durchfliessende Stromstärke.

Damit ein sicherer Schutz für das Personal unter allen Umständen gewährleistet wird, ist der Erdwiderstand des zu erdenden Gegenstandes so klein wie nur irgend möglich zu machen, auf alle Fälle so gering, dass, falls der geerdete Gegenstand eine gefährliche Spannung gegen Erde an-

nehmen sollte, daraus ein Strom resultiert, welcher die Sicherheitsschalter der mit dem berührten Gegenstand in Kontakt geratenen Leitung zum Funktionieren bringt und so die Gefahr automatisch beseitigt.

Es giebt jedoch noch weitere Mittel die Gefahr für das Personal zu vermindern. Die Schwierigkeiten, den Erdungswiderstand W, zu dem sich der Mensch parallel schaltet, auf einen sehr kleinen Wert zu bringen, liegen in dem hohen Übergangswiderstand zwischen Erdplatte und Erde. Nehmen wir an, die Person stehe nicht auf dem Erdboden sondern auf einer Metallplatte A, welche durch W mit dem geerdeten Gegenstand und im Falle eines durch einen Isolationsfehler verursachten direkten Körperschlusses auch mit dem Pol verbunden ist (Fig. 148), dann ist der Widerstand des menschlichen Körpers parallel zu dem Verbindungsdraht W der Platte und diesem Pol geschaltet, welcher ohne grosse Mühe auf Bruchteile eines Ohm gebracht werden kann. Praktisch lässt sich dieses Hilfsmittel in einfacher Weise dadurch wohl überall anwenden, dass an besonders gefährdeten Stellen wie z. B. in der Umgebung der Schalttafeln oder in den Gängen bei den Sammelschienen u. s. w. Eisenplatten oder Drahtgeflechte in den Fussboden eingebettet werden, die dann ihrerseits zunächst als Erdplatte behandelt und aus Sicherheitsgründen noch besonders geerdet werden.

Soll die Erdung mehr einen provisorischen Charakter tragen, so wird zweckmässig an der Arbeitsstelle als Standort für den Arbeiter eine Tafel Blech ausgebreitet und diese geerdet, sodann ist der zu erdende Gegenstand mit dieser Blechtafel durch eine starke Leitung zu verbinden. Selbst bei sehr schlechter Erdverbindung kann auf diese Weise ein vollkommener Schutz geschaffen werden.

Je grösser bei gegebenen Erdschlussverhältnissen der Widerstand des menschlichen Körpers ist, um so weniger Strom vermag denselben zu durchfliessen, und um so mehr vermindert sich demnach die Gefahr. Bedeckt man z. B. den geerdeten Fussboden noch mit einer Gummiplatte oder lässt den Arbeiter Gummischuhe tragen, so wird hierdurch ein weiteres wesentliches Sicherheitsmoment geschaffen.

Die Verhältnisse ändern sich nur in geringer Weise, wenn ein Punkt des Stromsystems betriebsmässig geerdet ist. Betrachten wir z. B. in Fig. 149 ein Gleichstrom-Dreileitersystem mit geerdetem Mittelleiter, so soll bei einem solchen System die Erdung verhindern, dass eine irgend einen Aussenleiter berührende Person jemals eine wesentlich höhere Spannung gegen Erde vorfindet, als die Spannung zwischen einem Aussenleiter und dem Nullleiter beträgt. Nach den Sicherheitsvorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker haben die Vorschriften für Niederspannungsanlagen so lange Gültigkeit, als die Spannung gegen Erde den Betrag von 250 Volt unter keinen Umständen überschreiten kann.

Bei geerdetem Mittelleiter wird durch einen Erdschluss im Aussenleiter die gefährliche Spannung e um so mehr über die Einzel-Netzspannung E erhoben, je kleiner der Widerstand des Erdschlusses im Verhältnis zu dem Erdwiderstand des Mittelleiters ist.

Nennen wir den Widerstand des Nullleiters gegen Erde w_0 und die diesen Widerstand durchfliessende Stromstärke i_0, bezeichnen wir ferner den Erdwiderstand des fehlerhaften Aussenleiters mit w_1 und die zugehörige Stromstärke mit i_1, sodann die kritische Spannung für die den fehlerfreien Pol berührende Person mit e und den Widerstand dieser Person mit R, während

II. Der Betrieb des Leitungsnetzes.

a) Die Kontrolle des Kabelnetzes.

148. Unterhaltung und Beaufsichtigung des Kabelnetzes. Es könnte auf den ersten Blick den Anschein erwecken, als bedürfe ein im Erdreich eingebettetes Kabelnetz überhaupt keiner Bedienung, da dasselbe ja normalerweise unzugänglich ist; und doch ergeben sich eine Anzahl Massnahmen, deren Nichtbeachtung leicht erhebliche Störungen im Gefolge haben können.[1])

Zunächst sind es die Verteilungs- und Abzweigkästen, in welchen die einmündenden Kabel gegeneinander durch Schmelzsicherungen geschützt sind, die einer periodisch wiederkehrenden Revision unterzogen werden müssen. Die Revision erstreckt sich vornehmlich auf guten Kontakt und Abschluss der Kästen gegen Feuchtigkeit, sowie auf die Erhaltung des schützenden Überzuges der Metallteile gegen Rost.

Sodann erfordert ein Kabelnetz zur Wahrnehmung der eigenen Interessen an allen denjenigen Stellen Aufsicht, wo im Bereich desselben Aufgrabungen im Terrain von dritter Seite vorgenommen werden. Diese Sorge wächst beträchtlich mit der Grösse des Ortes und kann durch solide Schutzabdeckungen der Kabel wohl vermindert aber niemals ganz ausser acht gelassen werden.

Sind die Kabel mit Schutzabdeckungen versehen, so ist bei allen Aufgrabungen in unmittelbarer Nähe der Leitungen Vorsorge zu treffen, dass etwaige Abdeckungen, die dabei entfernt worden sind, wieder an ihre richtige Stelle kommen und da, wo es erforderlich ist, ergänzt werden.

Ein sehr gefährlicher Feind der Erdkabel sind die Erdbohrer der Gasanstalten, mit welchen namentlich bei undurchlässigem Pflaster an den verschiedensten Stellen Löcher in den Erdboden gebohrt werden, um aus dem aufsteigenden durch Geruch wahrnehmbaren Leuchtgase auf Undichtheiten der Rohrleitungen zu schliessen. Solch ein Bohrer vermag die meisten Schutzabdeckungen der Kabel zu durchbrechen und findet an der Eisenarmierung der letzteren keinen nennenswerten Widerstand. Gegen diese Gefahr giebt es nur den einen Schutz, dass die Bohrer mit einem Bunde in etwa 60 cm Tiefe versehen werden, wodurch ein Tiefertreiben bis auf die Lage der Kabel verhindert wird.

149. Spannungskontrolle. Ausser diesen auf die Erhaltung der mechanischen Beschaffenheit des Kabelnetzes abzielenden Massnahmen sind noch solche geboten, die eine Kontrolle über die elektrischen Eigenschaften und über die richtigen Strom- und Spannungsverhältnisse im gesamten Netz ermöglichen. Der richtige Wert der Netzspannung im ganzen Konsumgebiete soll durch Kontrollmessungen zu den verschiedenen in Frage kommenden Stunden ermittelt werden. Sollten keine Prüfdrähte von den Speisepunkten zur Centrale zurückführen, mit deren Hilfe diese Kontrollmessungen vorgenommen werden können, so sind an Ort und Stelle entweder mit Hilfe eines gewöhnlichen oder eines registrierenden Voltmeters die erforderlichen Messungen auszuführen. Diese erübrigen sich naturgemäss, wenn die Stromverbrauchsgegenstände keine konstante Spannung erfordern.

1) Vgl. ETZ 1895, S. 211.

Haben sich bei diesen Kontrollmessungen unzulässige Differenzen ergeben, so ist Abhilfe geboten, indem entweder die Distrikte mit zu geringer Spannung verstärkte Kabelleitungen erhalten, oder indem, falls sich dieses als vorteilhafter herausstellt, die Leitungen nach diesem Distrikte durch Einschaltung einer Zusatzspannung wieder leistungsfähiger gemacht werden.

Eine sehr wichtige Kontrolle des Kabelnetzes, die auch von einschneidender Bedeutung auf das wirtschaftliche Ergebnis des Werkes ist, betrifft die gute Ausnutzung der Kabel. Je mehr Energie man durch ein gegebenes Kabel zu übertragen vermag, um so geringer stellen sich die Leitungskosten für die Energieeinheit. So lange also die Kosten des Leitungsverlustes gegen die Mehrkosten an Verzinsung und Amortisation zurückstehen, wird man durch intensivere Ausnutzung der Kabel einen Vorteil erzielen, der um so mehr Geltung besitzt, je kürzere Zeit die volle Inanspruchnahme der Kabel dauert. Die Grenze für die zulässige Strombelastung der Kabel bildet die Erwärmung derselben bezw. die durch die Erwärmung bedingte Verminderung des Isolationswiderstandes und die Verminderung ihrer Durchschlagsfestigkeit. Eingehende Versuche haben gezeigt, dass es bei dem heutigen Stande der Kabeltechnik keine Schwierigkeiten bereitet, ein Kabel herzustellen, welches bei einer dauernden Temperatur von 50 bis 60 ° C. alle guten Eigenschaften eines isolierten Leiters bewahrt. Nehmen wir für die höchste Erdbodentemperatur den Wert von 15 ° C. an, so entspräche dieses einer zulässigen Erwärmung durch den elektrischen Strom von höchstens 45 ° C.

150. Kontrolle der Strombelastung.

Dass die Faserstoffe bei dieser Temperatur noch keinerlei Gefahr ausgesetzt sind, geht daraus deutlich hervor, dass in den Normalien des Verbandes für Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen und Transformatoren als höchst zulässige Temperatur für Baumwollisolierung 85 ° C. und für Papierisolierung 95 ° C. bezeichnet sind.

Rechnen wir für die zulässige Grenze der Erwärmung von Kabelleitungen mit einer Übertemperatur von nur 40 ° C., so tritt die weitere Frage auf, bei welcher Stromstärke diese Temperatur erreicht wird. Die exakte Beantwortung dieser Frage wird am sichersten experimentell behandelt. Bei solchen Versuchen hat sich gezeigt, dass es einer Zeit von mehreren Stunden bedarf, bis das stromdurchflossene Kabel dem Beharrungszustande der Erwärmung sehr nahe kommt, der letztere jedoch erst nach wesentlich längerer Zeit eintritt. Hieraus folgt also, dass ein Kabel, welches nur kurze Zeit voll in Anspruch genommen wird, mit entsprechend höherer Stromstärke belastet werden darf.

Nicht unwichtig ist es, sich ein Urteil darüber zu bilden, welche Momente auf die Abführung der Wärme aus dem Kabel von Einfluss sind, und wodurch es kommt, dass bis zur Erreichung des Beharrungszustandes so ausserordentlich viel Zeit verstreicht.

Im Kupferleiter wird durch den Stromdurchgang Wärme erzeugt, der stromdurchflossene Kupferleiter stellt also eine Wärmequelle dar. Diese stetige Zuführung neuer Wärme hat eine Temperaturerhöhung des Materials zur Folge, die um so später einen bestimmten Wert erreicht, je grösser die Wärmekapazität des betreffenden Materials ist. Der Wärmegehalt eines Körpers, d. h. die von demselben aufgenommene Wärmemenge ist um so grösser, je grösser die erreichte Temperatur des Körpers und je grösser dessen Wärmekapazität ist.

Hat der Kupferleiter als der zunächst in Frage kommende Teil durch die aufgenommene Wärme seine Temperatur erhöht, so findet nach der den

Kupferleiter unmittelbar umgebenden Isolierschicht hin eine Wärmeabgabe statt, weil eine Wärmeströmung bei einer vorhandenen Temperaturdifferenz stets in der Richtung des Temperaturgefälles auftritt.

In dieser den Kupferleiter umgebenden Isolierschicht wird ebenfalls eine bestimmte Temperaturerhöhung um so später eintreten, je grösser die Wärmekapazität und je schwächer der Wärmestrom ist. Dieser Wärmestrom hängt seinerseits von der Grösse der Temperaturdifferenz und dem Wärmeleitungswiderstande des Materials ab. Es sickert in dieser Weise die Wärme ganz langsam von der Wärmequelle im Kupferleiter durch die ganze Isolationsschicht des Kabels zum umgebenden Erdreich hindurch. Die Wärme nimmt also ihren Weg in radialer Richtung vom Kupferleiter aus und findet mit fortschreitender Wegstrecke in den konzentrischen Schichten einen immer grösseren Querschnitt, also immer geringeren Widerstand, und ausserdem immer grössere Wärmekapazität infolge des zunehmenden Durchmessers der konzentrischen Schichten. Dieses hat wiederum zur Folge, dass das Temperaturgefälle bezogen auf die Längeneinheit der Wärmestrombahn mit der Entfernung vom Kabel immer geringer werden muss, und als Folgerung aus allen diesen Verhältnissen, dass die Zeitdauer, welche der Wärmestrom benötigt, um gleiche Wegstrecken zurückzulegen, mit der Entfernung vom Kupferleiter ganz ausserordentlich wächst.

Wie gross ungefähr der Einfluss der Wärmekapazität auf die Zeitdauer ist, bis es überhaupt möglich ist, dass der Wärmestrom fortschreiten kann, bezw. bis das Kabel in seiner Temperatur dem Beharrungszustande nahe kommt, geht aus folgender einfachen Rechnung deutlich hervor. Nehmen wir an, ein Kabel von 16 mm² Querschnitt werde mit 80 Amp. belastet, so entsteht in jedem Meter Länge des Kabels pro Stunde ein Effektverlust von:

$$\frac{80^2 \cdot 3600}{16 \cdot 60} \text{ Wattstunden.}$$

Da nun das mechanische Wärmeäquivalent 428 kgm ist, so würden diesem stündlichen Verlust $\frac{80^2 \cdot 75 \cdot 3600}{16 \cdot 60 \cdot 736 \cdot 428} = 5{\cdot}72$ Calorien entsprechen.

Zur gleichmässigen Erwärmung einer Zone von 10 cm Durchmesser und einem Meter Länge bei einer Wärmekapazität von 0·4/kg und einem spezifischen Gewicht von 1·5 um nur 10° C. ist eine Gesamtwärme erforderlich von:

$$\frac{10^2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 1{\cdot}5 \cdot 0{\cdot}4 \cdot 10}{4 \cdot 1000} = 47{\cdot}1 \text{ Cal.}$$

Es müsste also das Kabel während etwa 3 Stunden von 80 Amp. durchflossen werden, um diese Zone von 10 cm Durchmesser und einem Meter Länge um 10° C. zu erhöhen. Wenn auch dieses Beispiel auf die in Frage stehenden Verhältnisse nicht ganz anwendbar ist, weil in Wirklichkeit die Temperatur mit fortschreitender Entfernung vom Kabel eine immer geringere wird, so erkennt man doch daraus, dass von einer grossen Ausbreitung der Kabelwärme im Erdboden unter normalen Verhältnissen keine Rede sein kann, und dass es auch falsch sein würde, für die Berechnung der zulässigen Kabelbelastung Formeln anzuwenden, welche auf der Annahme begründet sind, dass die Kabelwärme ihren Weg durch das ganze Erdreich bis zur Erdoberfläche nimmt, wie dieses z. B. die Formel der Kabelkommission des

Verbandes Deutscher Elektrotechniker tut. Müsste die erzeugte Kabelwärme von der Luft aufgenommen werden, so müsste die Variation der Lufttemperatur von ausserordentlich grossem Einfluss auf die Kabeltemperatur sein, denn die Wärme vermag natürlich ebenso leicht in die Erde einzudringen, wie umgekehrt aus derselben herauszuströmen. Da aber nachweislich die Temperatur eines in einer Tiefe von 70—100 cm verlegten Kabels keine Abhängigkeit von den täglichen Schwankungen der Lufttemperatur aufweist, so spricht dieses ebenfalls gegen die Annahme, dass die Kabelwärme sich im Erdboden weit ausbreitet und bis zur Erdoberfläche dringt.

Die Ursachen der ausserordentlich langsamen und geringen Ausbreitung der Wärme sind einerseits in der relativ grossen vorhandenen Wärmekapazität des den Kupferleiter umgebenden Mediums, sowie in der geringen Wärmeproduktion und dem daraus resultierenden geringen verfügbaren Temperaturgefälle zu suchen, und andererseits in dem verhältnismässig hohen Wärmeleitungswiderstand sowohl des Kabelisoliermaterials als auch des Erdreichs.

Hieraus folgt, da die Wärmeerzeugung mit dem Quadrat der Stromstärke wächst (unter Vernachlässigung der Widerstandszunahme des Kupferleiters mit zunehmender Temperatur), dass bei einer plötzlich auftretenden erheblichen Zunahme der Stromstärke, wie solche namentlich bei Kurzschlüssen erfolgt, jedes Kabel Gefahr läuft, in unzulässiger Weise erwärmt zu werden und durchzuschlagen, da die Abführung der plötzlich erzeugten aussergewöhnlich hohen Wärmemenge wegen der äusserst ungünstigen Wärmeableitungsverhältnisse nicht schnell genug vor sich gehen kann.

Die bisherigen Ausführungen lassen erkennen, dass ein Kabel unter normalen Verhältnissen, wie sie bei Elektrizitätswerken vorliegen, den Beharrungszustand in bezug auf die Erwärmung wohl nie erreichen wird, da die während des Stromdurchganges erzeugte und in das Erdreich übergeleitete Wärme in den Ruhepausen der Stromentnahme Zeit genug hat sich zu verteilen, also praktisch jedesmal nach einer solchen Pause wieder verschwindet. Die um das Kabel herum gebildete Wärmezone nimmt eine um so grössere Ausdehnung an, je stärker und je längere Zeit das Kabel ununterbrochen beansprucht wird. In der ETZ 1900, S. 413 u. ff., sind die Wärmeableitungsverhältnisse bei Kabelleitungen behandelt und Versuche angeführt, welche den Zweck hatten, über die Frage der Wärmeausdehnung bei Kabelleitungen im Erdreich und daraus über die zulässige Strombelastung Aufschluss zu geben. Aus denselben geht hervor, dass die Annahme einer um das Kabel gebildeten Wärmezone, deren Durchmesser um 100 mm grösser ist als der Durchmesser des Kabels, den in der Praxis vorkommenden Verhältnissen hinreichend Rechnung trägt.

Es muss noch darauf hingewiesen werden, dass eine streng wissenschaftliche Behandlung der Erwärmung der im Erdboden eingebetteten Kabelleitungen bezw. der zulässigen Strombelastung solcher Kabel so vorgenommen werden muss, dass nicht der Beharrungszustand, der praktisch nie erreicht wird, der Betrachtung unterzogen wird, sondern dass der zeitliche Verlauf der Wärmeausbreitung genau studiert wird, und so die zulässige Strombelastung in Abhängigkeit von der Zeitdauer der Belastung ermittelt wird.

Auf Grund von Versuchen, welche von seiten der Vereinigung der Elektrizitätswerke in Verbindung mit den Kabelfabrikanten an einer Reihe von Kabeln vorgenommen worden sind, ist sowohl vom Verbande als auch von der Vereinigung die, von einer besonderen Kommission aufgestellte Be-

lastungstabelle für Einfachkabel für 700 Volt akzeptiert worden,[1]) welcher eine Erwärmung von nur 25 ^{0} C. zu Grunde liegt, und deren Werte unter keinen Umständen überschritten werden sollen.

Die Annahme einer solch geringen Übertemperatur übt bei Kabelnetzen von Elektrizitätswerken praktisch einen noch viel grösseren Einfluss aus, weil zur Sicherung der einzelnen Kabel Schmelzsicherungen benutzt werden, deren Schmelzstromstärke naturgemäss gleich der höchsten zugelassenen Strombelastung eingerichtet werden muss, falls die Kabel davor bewahrt bleiben sollen, je von einer höheren als der angegebenen Stromstärke durchflossen zu werden. Da die Gebrauchsstromstärke einer Sicherung, welche dieselbe dauernd vertragen kann, nur die Hälfte der Schmelzstromstärke beträgt, so werden die Kabelleitungen normalerweise nur im allerungünstigsten Falle bei dauernder voller Inanspruchnahme eine Übertemperatur von etwa 6 ^{0} C. erreichen, ein Wert, der gewiss von jedermann als viel zu niedrig anerkannt werden muss, denn eine derartige Vorsicht steht in direktem Widerspruch mit den Interessen der Elektrizitätswerke.

Man wird unschwer hieraus den Schluss ziehen können, dass die Frage der zulässigen Strombelastung von Kabelleitungen noch weit davon entfernt ist, eine allseitig befriedigende Lösung gefunden zu haben.

151. Massnahmen bei Störungen. Die Störungen in Kabelnetzen können verschiedene Ursachen haben,[2]) wie auch der Umfang einer Störung ganz verschieden ausfallen wird. Unter Umständen kann durch eine einzige Störung im Netz der gesamte Betrieb des Werkes auf Stunden unterbrochen werden, weshalb alles daran zu setzen ist, um Störungen nach Möglichkeit auszuschliessen.

Die häufigste Ursache von Störungen in Kabelnetzen ist Erdschluss eines Kabels, sei es, dass das Kabel gewaltsam beschädigt worden ist, z. B. bei Erdarbeiten durch eine Spitzhacke oder durch einen Erdbohrer, oder dass der Erdschluss dadurch entstand, dass in einer Muffe oder einem Kabelkasten eine Klemme oder die Kabelseele selbst mit dem Gehäuse Schluss bekommen hat.

Ein solcher Erdschluss im Kabelnetz hat einen Stromverlust zur Folge, der um so grösser ist, je geringeren Widerstand der entstandene Erdschluss aufweist, je grösser die Netzspannung und je besser ein anderer Leiter, sei es nun absichtlich oder infolge von Isolationsfehlern, geerdet ist.

Hat der entstandene Erdschluss eine solche Stromstärke zur Folge, dass die Sicherung, mit welcher der Kabelstrang gesichert ist, abschmilzt, so schaltet sich der Fehler vom übrigen Netz automatisch ab, und der Umfang der Störung bleibt auf den Bezirk des fehlerhaften Kabels beschränkt. Leider gehört ein solcher Verlauf einer Kabelstörung in Niederspannungsnetzen zu den Seltenheiten, weil ein Erdschluss nur in Ausnahmefällen so intensiv ist, dass ein der Abschmelzstromstärke der vorgeschalteten Sicherung entsprechender Strom sofort resultiert.

Vielfach bildet sich an der Erdschlussstelle ein Lichtbogen, welcher einen grossen Teil der Netzspannung absorbiert, so dass ein Anwachsen des Erdschlussstromes bis auf die Abschmelzstromstärke der Sicherung erst ermöglicht wird, nachdem grössere Strecken des Kabels miteinander verschmolzen sind.

Liegen mehrere Kabel unmittelbar nebeneinander, so greift die Störung in den meisten Fällen auf die benachbarten Leitungen über, weil die Durch-

1) Vgl. ETZ 1904, S. 464.
2) Vgl. ETZ 1895, S. 211.

schlagsfestigkeit dieser Kabel durch die bedingte grosse Erhitzung zu sehr herabgedrückt wird. Im ungünstigsten Falle erstreckt sich die Störung auf sämtliche an der Fehlerstelle befindliche Leitungen. Entstand der Erdschluss in der Nähe der Centrale, da wo alle Kabel die Station verlassen, so ist der ganze Betrieb bis zur Wiederherstellung der Leitungen rettungslos unterbunden.

Ist die Beschädigung des Kabels so gering, dass ein metallischer Kontakt noch nicht gebildet ist, so wird die Bodenfeuchtigkeit allmählich in die Fehlerstelle eindringen, und es beginnen in demselben Masse die Stromverluste als vagabundierende Ströme zuzunehmen, in dem der Erdschluss an Widerstand abnimmt.

Hier wird die Zerstörung meistens durch elektrolytische Wirkungen des Stromes, die sich auch auf benachbarte Gas- und Wasserleitungen erstrecken können, gefördert, bis schliesslich an einer Stelle eine hinreichend leitende Brücke gebildet ist, und ein Lichtbogen entsteht, der alsdann ein energischeres Hervortreten der Störung zur Folge hat.

Eine solche im stillen wirkende Wühlarbeit eines Kabelfehlers kann so lange unbemerkt bleiben, bis entweder durch die vermehrte Stromentnahme oder durch resultierende Spannungsschwankungen in dem fehlerhaften Netzteil die Betriebsleitung aufmerksam gemacht wird und Schritte zur Aufsuchung und Beseitigung des Fehlers tut.

Die Bestimmung des Ortes eines Fehlers in einem unter Spannung stehenden ausgedehnten Kabelnetz ist keine leichte Aufgabe. Man vermag sich die Arbeit dadurch wesentlich zu erleichtern, dass man den Fehler einzugrenzen sucht. Am einfachsten und bequemsten lässt sich ohne Frage ein Fehler mit Hilfe eines Kabelfehlermeldesystems, wie solches im folgenden Abschnitt 152 „Kontrolle des Isolationszustandes von Kabelnetzen“ beschrieben ist, signalisieren, eingrenzen und auffinden. Ist ein solches System nicht vorhanden, so muss man sich auf andere Weise behelfen. Zunächst sucht man festzustellen, welche Speisekabel mehr Strom führen als gewöhnlich. Diese werden dann der Reihe nach beiderseits abgeschaltet und mit Hilfe eines Präcisionsvoltmeters auf Erdschluss geprüft. Sind die Speisekabel intakt, so werden die von den mehrbelasteten Speiseleitungen abzweigenden Verteilungskabel der Reihe nach abgeschaltet und mit dem Voltmeter auf Erdschluss geprüft, und es wird hiermit so lange fortgefahren, bis das fehlerhafte Kabel gefunden ist.

Bei diesen Feststellungen ist auf ein einfaches und handliches Instrument deshalb grosser Wert zu legen, um einmal in kürzester Zeit zu einem Resultat zu gelangen und sodann, um diese Arbeit mit wenig Personal und, wenn irgend möglich, durch Monteure ausführen lassen zu können.

Ist der fehlerhafte Kabelstrang herausgefunden, so muss noch die Fehlerstelle selbst bestimmt werden. War das fehlerhafte Kabel ein Verteilungskabel mit vielen Hausanschlüssen, so kann eine durch feine elektrische Messungen vorgenommene Fehlerortsbestimmung nur zu einem Resultate führen, wenn alle Hausanschlüsse zuvor abgeschaltet wurden.

In vielen Fällen wird man auch ohne diese zeitraubende und die Konsumenten sehr störende Massnahme zum Ziele kommen können. Vielfach macht sich nämlich ein Kabelfehler durch den Geruch von verbrannter Isolation bemerkbar, und es brauchen alsdann nur an dieser Stelle Aufgrabungen vorgenommen zu werden.

Sind derartige Handhaben nicht gegeben, so kann man auch das Kabel an irgend einer Stelle, z. B. an einer Muffe, auseinander trennen, und man bestimmt alsdann wieder mit dem Voltmeter, in welchem Teil des Kabels der Fehler liegt. Der gesunde Teil wird baldmöglichst wieder unter Spannung gesetzt, damit die normale Stromentnahme hier wieder aufgenommen werden kann.

Ist der verbleibende fehlerhafte Rest noch zu lang, um durch Aufgrabung der ganzen Strecke den Fehler blosslegen zu können, so muss eine nochmalige Unterteilung vorgenommen werden.

Liegen keine besonderen Schwierigkeiten vor, eine Fehlerortsbestimmung durch exakte elektrische Messungen mit einem empfindlichen Galvanometer auszuführen, wozu auch der störende Einfluss des Wagenverkehrs und der elektrischen Bahnen zählt, so empfiehlt sich unter allen Umständen dieses Messverfahren zunächst zur Anwendung zu bringen, da es alsdann am schnellsten zum Ziele zu führen verspricht.

Erreicht man auf diese Weise den gewünschten Erfolg nicht, so suche man sofort durch die oben beschriebene Methode der Unterteilung des fehlerhaften Kabels den Fehlerort aufzufinden. Hat man nur Monteurpersonal für solche Arbeiten verfügbar, so wird man in den meisten Fällen auf die Anwendung feinerer Messmethoden verzichten müssen.

Eine Schwierigkeit anderer Art tritt häufig bei Hochspannungskabeln mit Gummiisolation auf, indem nach einem erfolgten Kabeldurchschlag die Gummiisolierung an der Fehlerstelle durch den entstandenen kleinen Lichtbogen, welcher naturgemäss nach dem Durchschmelzen der Sicherung sofort wieder erloschen ist, zusammenfliesst und dadurch verhindert wird, dass selbst mit den empfindlichsten Messinstrumenten ein Fehler nachgewiesen werden kann. Ein solches Kabel lässt sich auch in den meisten Fällen anstandslos wieder einschalten.

Da an der Fehlerstelle jedoch durch geringfügige äussere Einflüsse das nur notdürftig gebildete Gummihäutchen wieder zerstört werden kann, so bleibt ein derartiges fehlerhaftes Kabel betriebsunsicher und pflegt von Zeit zu Zeit wieder durchzuschlagen. Um in solchen Fällen den Fehler nachzuweisen, behandelt man das Kabel mit Überspannung so lange, bis sich eine leitende Brücke aus verkohlter Isolation an der Fehlerstelle gebildet hat, worauf in normaler Weise die galvanometrische Fehlerortsbestimmung vorgenommen wird, über welche in einem anderen Bande genauere Angaben gemacht sind.

Eine andere Art von Störungen in einem Kabelnetze kann dadurch auftreten, dass an irgend einer Stelle eines stark belasteten Netzes durch Überlastung eine Hauptsicherung schmilzt. Alsdann müssen die umliegenden Leitungen den bisher von der stromlos gewordenen Leitung zugeführten Strom mit übernehmen. Werden auch diese Leitungen hierdurch überlastet, so kann es vorkommen, dass eine Sicherung nach der anderen in ganz kurzer Zeit durchschmilzt, und das gesamte Netz stromlos wird.

Dieselbe Gefahr besteht bei sehr knapp bemessener Transformatorenleistung. Auch hier kann infolge einer lokalen Überlastung alsdann eine Transformatorensicherung nach der anderen von den auf ein gemeinsames Niederspannungsnetz arbeitenden Transformatoren durchschmelzen und eine unerwünschte allgemeine automatische Abschaltung sämtlicher Verteilungsleitungen mit allen Anschlüssen zur Folge haben. Die Erneuerung sämtlicher

Sicherungen ist nicht nur zeitraubend und kostspielig, sondern auch mit Vorsicht unter Abtrennung von Netzteilen auszuführen, damit nicht sofort nach dem Einsetzen der Sicherung ein Durchschmelzen derselben wieder erfolgt.

Ausser den geschilderten Störungen in Kabelnetzen kommen noch solche vor, denen eine Unterbrechung der Leitung oder eine Lockerung der Kontakte zu Grunde liegt, und welche zum Nachteil der Konsumenten entweder eine gänzliche Stromunterbrechung oder Schwankungen in der Energielieferung sowie der Spannung zur Folge haben.

Die gebräuchlichste Verbindungsart der einzelnen Fabrikationslängen der Kabel zu einer fortlaufenden Leitung erfolgt entweder durch Verlötung oder durch Verschraubung. Über diese Verbindungsstelle des Kupferleiters wird eine Muffe gebracht, und der Hohlraum mit Isoliermaterial ausgefüllt. Diese Muffe besteht entweder aus Blei und umschliesst den Leiter ziemlich eng, und wird mit dem Bleimantel des Kabels verlötet, oder aber dieselbe ist aus Gusseisen hergestellt und der mit Isoliermasse auszufüllende Hohlraum durch Faserstoffe gegen die Armierung abgedichtet. Es ist darauf acht zu geben, dass das Ausgiessen der Muffe mit Isoliermasse sorgfältigst vorgenommen wird, damit keine Feuchtigkeit eindringt, und keine Luftblasen entstehen, da sonst Isolationsfehler die wahrscheinliche Folge sein werden.

Wird eine solche Verbindungsstelle einem Zug unterworfen, z. B. beim Umlegen der Kabel oder bei Senkungen des Terrains, so können besonders bei mangelhafter Montage der Verbindungsstelle beide Kabelenden so weit auseinander gezogen werden, dass entweder eine vollständige Unterbrechung oder eine Lockerung des Kontaktes eintritt. Im ersteren Falle bleibt der Fehler dann leicht unbemerkt, wenn es sich um eine Leitung handelt, welcher von zwei Seiten Strom zugeführt wird. Liegt nur eine Lockerung des Kontaktes vor, so entwickelt sich beim Stromdurchgang an dieser Stelle eine erhöhte Temperatur, welche ein Schmelzen der Masse und Auslaufen aus der Muffe im Gefolge haben kann. Auch wird durch die erzeugte Wärme das Kabel ausgedehnt und leicht zum Kontakt mit dem Muffengehäuse gebracht, wodurch Erdschluss entsteht, falls nicht ein solcher bereits durch die auftretende lokale Erhitzung und daraus resultierende Zerstörung der Isolation entstanden war.

Manche Konstruktionen von Verbindungsklemmen für Kabel bestehen in einer Keilverbindung, die sich bei auftretendem Zug immer fester zusammenzieht und den Kontakt verbessert. Da aber ein ruhig in der Erde liegendes Kabel normalerweise einer Zugwirkung nicht ausgesetzt ist, dagegen infolge der Stromwärme Tendenz hat, sich auszudehnen, und somit auf die Verbindungsstelle des Kabels sehr leicht ein Druck oder ein Gegeneinanderschieben der verbundenen Enden entsteht, so muss sorgfältigst darauf acht gegeben werden, dass die Konstruktion der Verbindungsklemmen eine Lockerung des Kontaktes auch beim Zusammenschieben der Kabelenden nicht zulässt.

152. Kontrolle des Isolationszustandes von Kabelnetzen.

Die Isolationsmessungen an in Betrieb befindlichen Kabelnetzen von Elektrizitätswerken haben nur dann einen praktischen Wert, wenn durch dieselben etwaige im Entstehen begriffene Fehler so rechtzeitig aufgedeckt werden können, dass grösseren Störungen vorgebeugt werden kann. Diese Aufgabe wird am besten erfüllt, wenn die Isolationskontrolle eine automatische ist; denn bei jeder anderen Art der Kontrolle dürfte in den Zwischenpausen zwischen zwei Messungen hinreichend Zeit vorhanden sein, dass ein ent-

standener Isolationsfehler sich erheblich ausbreiten und grossen Schaden verursachen kann.

Als in den ersten Stadien der Centralstationstechnik die einzelnen Werke nur eine relativ sehr geringe Ausdehnung besassen, und man eine Erdung des Mittelleiters noch nicht kannte, wurde der Isolationszustand der gesamten Anlage durch eine einfache Erdkontrolle vorgenommen, indem eine Glühlampe nacheinander zwischen Erde und den positiven Pol und dann den negativen Pol geschaltet wurde. Leuchtete die Lampe hell auf, so hatte der andere Pol Erdschluss. Später setzte man an Stelle der Glühlampe ein Voltmeter, wodurch man in die Lage versetzt wurde, aus den Angaben des Instrumentes sogar den Wert des Erdschlusses in Ohm auszudrücken.[1])

Um einen entstandenen Fehler aus der Welt zu schaffen, wurde derselbe häufig ausgebrannt, indem der fehlerfreie Pol der Centrale entweder direkt oder unter Zwischenschaltung eines Widerstandes an Erde gelegt wurde, ein nach unseren modernen Begriffen sehr rohes und unzulässiges Verfahren, das eine erhebliche Feuersgefahr in sich schliesst.

Je mehr die Leitungsnetze an Ausdehnung zunahmen, bezw. je grösser die Anzahl der Anschlüsse wurde, um so mehr zeigte ein jeder Pol in der Centrale, selbst bei fehlerfreien Kabelleitungen, Erdschluss, und um so weniger Wert hatten derartige in der Centrale für das gesamte Netz ausgeführte Messungen, welche sogar ganz zwecklos wurden, als die Erdung des neutralen Leiters zur Einführung gelangte. Es war daher geboten, andere Mittel und Wege zu finden, um dem Bedürfnis nach einer Kontrolle des Isolationszustandes der Netze gerecht werden zu können.

In sehr einfacher und eleganter Weise wird diese Aufgabe durch eine der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft im Jahre 1893 unter No. 66681 patentierte „Einrichtung zur selbsttätigen Anzeige von Kabelverletzungen in elektrischen Leitungen mit Hilfe der zu Messzwecken dienenden Prüfdrähte“ gelöst. Diese Einrichtung wurde sogleich bei den Berliner Elektrizitätswerken eingeführt und hat sich daselbst auf das glänzendste bewährt.

Wie bei den Berliner Elektrizitätswerken, so besteht auch bei jedem anderen Elektrizitätswerke die Notwendigkeit, von den Hauptspeisepunkten des Leitungsnetzes Prüfdrähte, welche aus Sparsamkeitsrücksichten meistens in die Kabel eingesponnen werden, zur Centrale zurückzuführen, um eine Kontrolle über die Höhe der mittleren Netzspannung und über die Abweichungen vom Sollwert an den einzelnen Speisepunkten zu ermöglichen.

Sind alle Prüfdrähte auf gleichen Widerstand abgeglichen, so zeigt ein Voltmeter, an welches alle parallel geschalteten Prüfdrähte gelegt sind, genau den Mittelwert der Einzelspannungen an. Um eine Kontrollmessung der Einzelspannungen zu ermöglichen, wird jeder einzelne Prüfdraht an einen kleinen Umschalter angeschlossen.

Je grössere Ausdehnung nun ein Kabelnetz besitzt, um so grösser wird nicht nur die Möglichkeit der Verletzung der Leitungen, sondern um so schwieriger wird vor allem die Auffindung der Fehlerstelle. Es wird daher einem ausserordentlich tief gefühlten Bedürfnis Rechnung getragen, wenn mit Hilfe vorhandener Einrichtungen ohne bedeutenden Mehraufwand an Kosten eine automatische Fehlermeldung und Lokalisierung der Fehlerstelle, wie es das D.R.P. No. 66681 vorsieht, ermöglicht wird.

---

1) Vgl. ETZ 1892, S. 527.

Diese Einrichtung möge im folgenden in derjenigen Form, Fig. 151, kurz beschrieben werden, wie sie vom Verfasser modifiziert worden ist, um die Voltmeterangaben einmal von auftretenden Kabelfehlern unabhängig zu machen und andererseits, um das Fehlermeldesystem auch für Spannungen von 2×220 Volt geeignet zu machen, und wie solche in den neueren Anlagen der Berliner Elektrizitätswerke ausschliesslich zur Einführung gelangt ist.

In Fig. 150 seien K_1 und K_2 die Stationssammelschienen, L_1 und L_2 die Speiseleitung, V ein Voltmeter, P_1 und P_2 in die Speisekabel eingesponnene Prüfdrähte, welche vom Speisepunkt nach der Station zurückführen und an das Voltmeter angeschlossen sind. Dieses Voltmeter wird unter Vernachlässigung des durch den Voltmeterstrom in den Prüfdrähten verursachten äusserst geringen Spannungsverlustes genau die herrschende Spannung an dem Speisepunkte anzeigen, also in seinen Angaben um den Betrag des Spannungsverlustes in der Speiseleitung L_1 L_2 hinter den Angaben des Sammelschienenvoltmeters zurückbleiben.

Auf die Angaben des Voltmeters hat es ohne Frage keinerlei Einfluss, ob der im Voltmeter vorhandene Vorschaltwiderstand in das Instrument selbst gelegt wird oder z. B. an den Speisepunkt w_1 w_2, dagegen wird in letzterem

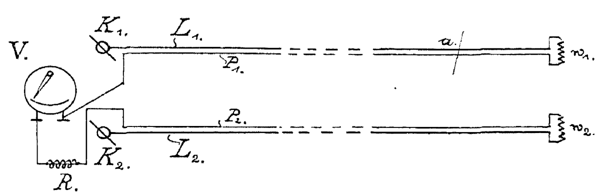


Fig. 150.

Falle bei einem durch Beschädigung des Kabels, z. B. bei a, hervorgerufenen Kontakt zwischen Prüfdraht und Speisekabel der am Speisepunkt vorgeschaltete Widerstand w_1 kurz geschlossen und eine erhebliche Zunahme der Stromstärke im Voltmeterstromkreis eintreten, wodurch ein in diesen Stromkreis eingeschaltetes Relais R zum Ansprechen gebracht werden kann. Das Relais signalisiert also diejenige Leitung, welche beschädigt worden ist.

Würde man alle zur Centrale zurückführenden Prüfdrahtleitungen gleicher Polarität, von denen jede mit einem Relais ausgerüstet ist, parallel schalten und an das Stationsvoltmeter führen, so würden die Angaben dieses Instrumentes so lange proportional der mittleren Netzspannung sein, als alle Prüfdrähte intakt sind. Eine Änderung der Anzahl der parallel geschalteten Prüfdrähte würde aber eine Änderung der Konstante des Voltmeters zur Folge haben, d. h. der Wert der früher gültigen Teilung würde sich ändern.

Um diesen Nachteil zu umgehen, ist in folgender Weise verfahren worden. Ein jeder vom Speisepunkt zur Centrale zurückführende Prüfdraht wird nach Passieren des zugehörigen Relais und einer kleinen Sicherung an die seiner Polarität entsprechende Prüfdrahtsammelschiene geführt (Fig. 152), so dass zwischen den beiden Sammelschienen eine der mittleren Netzspannung proportionale Spannung herrscht. Zwischen diese Prüfdrahtsammelschienen sind so viele dem Voltmeter V (Fig. 152) entsprechende Äquivalentwiderstände $v_1 v_2 v_3 v_4$ geschaltet, wie Prüfdrähte zur Centrale zurückführen. Es können also nach Belieben an Stelle dieser Ausgleichswiderstände Voltmeter gesetzt werden.

Tritt nun der Fall ein, dass ein Kabel fehlerhaft wird und Kontakt mit seinem eingesponnenen Prüfdrahte bekommt, so wird die Klappe des zugehörigen Relais fallen, und dadurch das fehlerhafte Kabel signalisiert sein.

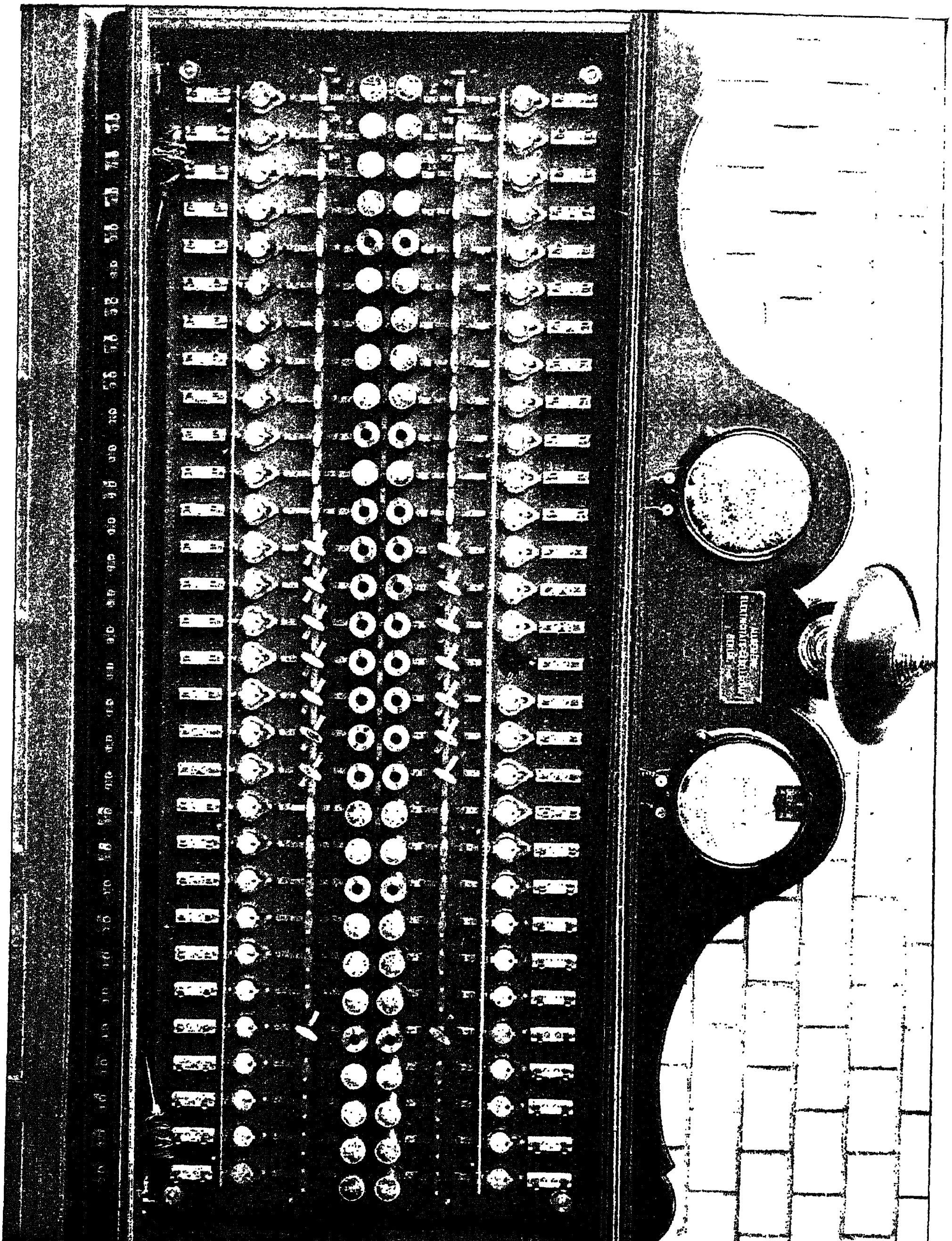


Fig. 151.

Durch das Fallen der Relaisklappe wird der Schaltung gemäss bereits der fehlerhafte Prüfdraht von den Prüfdrahtsammelschienen automatisch abgeschaltet. Damit auch zwischen den Sammelschienen wieder normale Ver-

hältnisse herrschen, wird der dem abgeschalteten Prüfdraht entsprechende Äquivalentwiderstand mit Hilfe eines kleinen Schalters ausgeschaltet. Auf diese Weise ist es möglich, die Anzahl der Prüfdrähte in ganz beliebiger Weise zu ändern, ohne dass die Anzeige der richtigen mittleren Netzspannung für die intakten eingeschalteten Prüfdrähte irgendwie beeinflusst wird.

Damit nicht nur Fehler in den Speiseleitungen durch den Kabelfehlermeldeapparat signalisiert werden, sondern auch solche in den Verteilungsleitungen, ist es nur erforderlich, die Prüfdrähte dieser Verteilungskabel in so viel Bezirke einzuteilen, wie Speisepunkte vorhanden sind, und jede solcher Prüfdrahtgruppen von Verteilungsleitungen mit den Prüfdrähten des zugehörigen Speisekabels zu verbinden, wie es die Fig. 152 veranschaulicht.

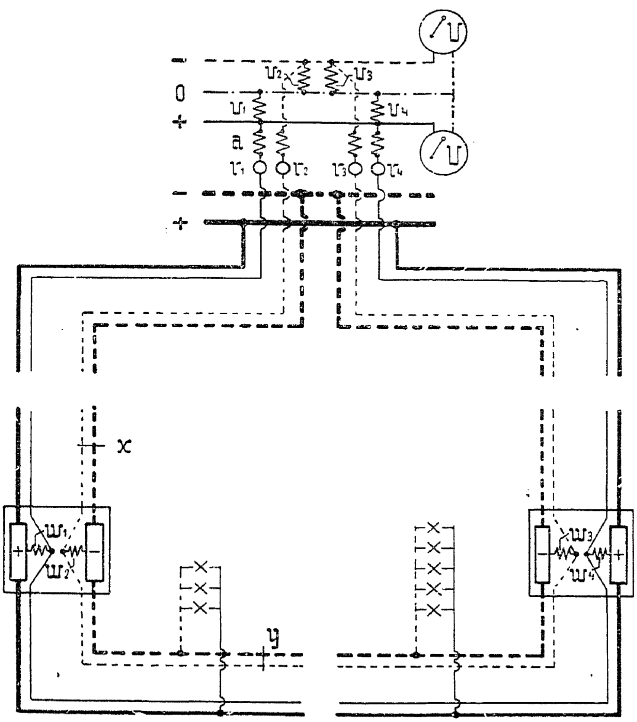


Fig. 152.

Man wird unschwer erkennen, dass z. B. auch ein bei *y* auftretender Fehler in dem Verteilungskabel das Relais r_2 zum Ansprechen bringt.

Zur Feststellung des Fehlerortes bei einem durch den Fehlermeldeapparat signalisierten Fehler wird folgendermassen verfahren. Das Personal begiebt sich zunächst an den Speisepunkt des signalisierten Speisekabels. Nachdem hier die Verbindungen der einzelnen Prüfdrähte untereinander gelöst sind, wird mit Hilfe eines Voltmeters oder einer Glühlampe derjenige Prüfdraht ausgesucht, welcher mit der Kabelseele Kontakt hat. Dieses Kabel wird abgeschaltet und nun, wie früher beschrieben, die Eingrenzung des Fehlers durch Messung oder Unterteilung bewirkt, und alsdann der Fehler selbst beseitigt.

Derselbe Kabelfehlermeldeapparat lässt sich auch dazu benutzen, das Eindringen von Wasser in die Kabelkästen zu signalisieren. Namentlich bei

Gleichstromwerken besteht die Gefahr, dass sich durch das in die Kabelkästen eingedrungene Wasser leicht Knallgas bildet, sobald ersteres in Berührung mit den Stromleitern gerät. Der geringste entstehende Funke, welcher eine natürliche Begleiterscheinung bei der Wasserzersetzung ist, wenn die Elektroden nur eben die Flüssigkeit berühren, verursacht alsdann eine heftige Explosion, durch welche der Kasten zerstört und der Kastendeckel hoch in die Luft geschleudert werden kann, wobei Leben und Gesundheit der Passanten schwer gefährdet sind.

Diesen Gefahren wird mit Hilfe des Kabelfehlermeldeapparates dadurch vorgebeugt, dass in jedem Kabelkasten auf dem Boden ein kleiner Schwimmer montiert wird, welcher durch das hochsteigende Wasser gehoben wird und dadurch Kontakt zwischen Prüfdraht und Kabelseele verursacht. Die ausrückenden Monteure, welche den signalisierten Fehler aufzusuchen haben, sind in der Lage, durch Ausschöpfen des Wassers und Dichten des Kastens jegliche Gefahr schnellstens zu beseitigen.

In Hochspannungsnetzen, wo eine Isolationskontrolle der Kabel in der soeben geschilderten Weise nicht möglich ist, hat man mit gutem Erfolge auf die Voltmetermethode zurückgegriffen, sofern kein Punkt des Stromsystems betriebsmässig geerdet ist, also auch der neutrale Punkt des Mehrphasenstromnetzes nicht.

Am geeignetsten für diese Zwecke sind statische Voltmeter. Die Schaltung derselben ist derartig, dass so viel Instrumente wie das System Stromleiter besitzt, zur Anwendung kommen, von denen je eins mit einer Klemme an einen Leiter gelegt wird, während die anderen Instrumentklemmen untereinander verbunden und geerdet werden (Fig. 153).

Verschiebt sich das Erdpotential des Stromsystems, so macht sich der Fehler sofort durch die Ungleichheit der Instrumentangaben bemerkbar, und die Instrumente zeigen das Verhältnis des Isolationszustandes der einzelnen Stromzweige des gesamten Netzes an.

153. Kennzeichnung der Kabel.

Sollen Arbeiten irgend welcher Art an einem Kabel vorgenommen werden, welches mit mehreren anderen in einen gemeinschaftlichen Graben verlegt war, so muss das betreffende Kabel zuvor herausgesucht werden. Namentlich in Hochspannungsbetrieben ist es von der allergrössten Wichtigkeit, die Kabel durch Zeichen derartig kenntlich zu machen, dass jeglicher Irrtum nach erfolgter Blosslegung der Kabel ausgeschlossen ist.

Zur Kenntlichmachung der Kabel bedient man sich der Kabelzeichen, welche bei der Verlegung in Abständen von 1—2 m auf die Kabel selbst aufgeschoben werden, und in herkömmlicher Weise aus Bleistreifen oder Eisenschellen bestehen. Auf diese Zeichen wird der Kupferquerschnitt des Kabels, die Polarität und eventuell auch noch eine dem Kabel gegebene Nummer aufgeschlagen. Damit ein Rosten der Eisenschellen nicht zu befürchten ist, verwendet man stark verzinktes Eisen.

In einem Gleichstrom-Dreileiternetze können z. B. alle Aussenleiter Bleistreifen erhalten und alle Nullleiter Eisenschellen. Obgleich die Speiseleitungen sich im allgemeinen bereits von den Verteilungsleitungen durch den stärkeren Querschnitt unterscheiden werden, so empfiehlt es sich doch, wenigstens alle Speiseleitungen noch durch eine entsprechende Nummer kenntlich zu machen.

Die Kabelzeichen sind besonders deutlich an den Schaltstellen anzubringen, um im Bedarfsfalle das Zu- und Abschalten richtig bewirken zu

können. In Hochspannungsbetrieben soll ausser der genauen Bezeichnung eines jeden Kabels noch ein übersichtliches Schaltungsschema an jeder Schaltstelle vorhanden sein, aus dem zu entnehmen ist, wo ein jedes, an der betreffenden Stelle endigende Kabel seinen Anfang nimmt.

Von einem jeden Kabelnetz, sei es noch so klein, empfiehlt es sich, 154.
gleich bei der Kabelverlegung genaue Aufnahmen zu machen und alle Kabelpläne.
wichtigen Daten in Strassenpläne von nicht zu kleinem Massstab einzutragen. Ausser dem Abstand der verlegten Kabel von unveränderlichen Linien und Marken, wie z. B. den Grundstücksgrenzen, werden auch alle Hindernisse in die Pläne eingetragen und die Art, wie die Kabel denselben ausweichen. Ferner ist es von Wichtigkeit, aus den Plänen die genaue Lage der Kabelverbindungsstellen wie Muffen, Kabelkästen, Transformatorenstationen u. s. w. entnehmen zu können. Dass auch die auf den Kabeln selbst vorhandenen Bezeichnungen in die Pläne einzutragen sind, ist einleuchtend.

Von allen Kabelplänen müssen Duplikate vorhanden sein, welche auf Leinwand aufzuziehen sind und zum Zusammenlegen eingerichtet werden,

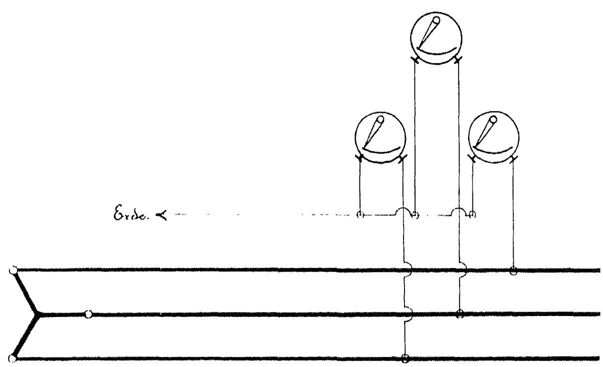


Fig. 153.

damit dieselben bei Arbeiten im Netz dem Personal als Anhalt und zur Orientierung dienen. Sind die Netze sehr ausgedehnt, so würde ein einziger grosser Plan für die Benutzung unterwegs zu unhandlich sein; hier empfiehlt es sich, das Netz in einzelne Bezirke zu teilen, für welche getrennte Pläne geführt werden.

Je handlicher und übersichtlicher die Unterlagen zur Ermittelung der Kabellage mit allem Zubehör im Terrain sind, und je leichter eine genaue Orientierung möglich ist, um so schneller lassen sich auch die Arbeiten im Kabelnetz erledigen, was namentlich bei vorkommenden Störungen nicht hoch genug angeschlagen werden kann.

Während die Sicherung der Leitungen gegen zu hohe Strombelastung 155.
und daraus resultierende zu starke Erwärmung bereits bei den ersten Edison- Über-spannungs-
Centralen eingeführt war und allgemein als notwendig anerkannt wird, ist sicherungen.
die Sicherung der Kabelleitungen gegen die zerstörenden Einwirkungen auftretender Überspannungen erst eine Errungenschaft der Neuzeit.

Die Notwendigkeit, auch in dieser Beziehung Sicherheitsapparate zum Schutze der Betriebsmittel einzuführen, hat sich insbesondere bei solchen Hochspannungsanlagen ergeben, deren Betriebsspannung 3000 Volt überschreitet.

Die Ursachen, welche das Auftreten von Überspannungen bedingen, sind leider noch nicht in erschöpfender Weise erforscht. Sehen wir von atmosphärischen Entladungen hier gänzlich ab, so sind die weitaus meisten der in der Praxis beobachteten Überspannungen bei Wechselstromanlagen dann beobachtet, wenn an irgend einer Stelle des Kabelnetzes ein Erdschluss entstand.

Durch einen solchen Erdschluss findet im allgemeinen eine Änderung der Ladungsverhältnisse im Kabelnetz statt, und je nach der Ausdehnung des Netzes bezw. nach der Grösse der Kapazität, und je nachdem das Potential des fehlerhaften Poles von dem Erdpotential verschieden war, wird die durch den Erdschluss zur Umlagerung gebrachte Ladungsenergie an Grösse variieren und demnach auch die resultierenden Wirkungen.

Die Wirkung solcher Überspannungen kann bei ausgedehnten Anlagen eine ganz gewaltige und verheerende sein, worunter natürlich auch das Kabelnetz selbst zu leiden hat, denn die Überspannung gleicht sich da aus, wo die Isolation der herrschenden Spannung nicht gewachsen ist. Es hat daher auch zunächst die Draht- und Kabelkommission des Verbandes Deutscher

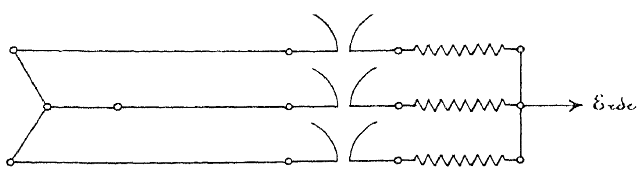


Fig. 154.

Elektrotechniker Leitsätze [1]) für die Einführung von Überspannungssicherungen aufgestellt.

Solche Sicherungen basieren auf der Einführung einer schwächeren Stelle, wodurch der auftretenden Überspannung Gelegenheit gegeben werden soll, sich an dieser Stelle auszugleichen und so einen Schutz für die übrigen Betriebsmittel zu schaffen.

Da die Überspannung sowohl von Leiter gegen Erde als auch von Leiter gegen Leiter auftreten kann, so müssen beide Wege für den Ausgleich offen stehen. Es muss naturgemäss die Aufnahmefähigkeit dieser Ableitungen so gross sein, dass jegliche Gefahr für die übrigen Betriebsmittel beseitigt ist. Bei den meisten Überspannungssicherungen, welche Eingang in die Praxis gefunden haben, werden kleine Funkenstrecken zwischen Leiter und Erde und zwischen Leiter und Leiter eingeschaltet. Die Länge dieser Funkenstrecke wird bei einem Vorversuche so einreguliert, dass dieselbe bei einer gegebenen Spannung anspricht, wozu man sich eines kleinen Hilfstransformators bedient.

Als die ersten lediglich durch Funkenstrecken gebildeten Überspannungssicherungen in Funktion traten, erfolgte ein Generalkurzschluss, denn durch die Überbrückung der Luftstrecke durch den Funken war der Widerstand derselben so minimal geworden, dass ein Kurzschlussstrom resultieren musste, der natürlich eine vollkommene Betriebsstörung zur Folge hatte.

Diese Erfahrungen führten dazu, die Stärke der die Überspannungssicherung passierenden Energie zu begrenzen, was leicht zu erreichen ist

1) Vgl. ETZ 1905, S. 827.

durch Einschaltung von Widerstand in die Ableitungen der Überspannungssicherung (Fig. 154). Wie aber ein jeder Widerstand einen der Stromstärke proportionalen Spannungsverlust bedingt und in unserem Falle gewissermassen eine Stauung der abzuführenden Energiemenge herbeiführt, so kann hier trotz empfindlich eingestellter Überspannungssicherung bei grossen abzuführenden Energiemengen die effektive Spannungserhöhung noch immer einen solchen

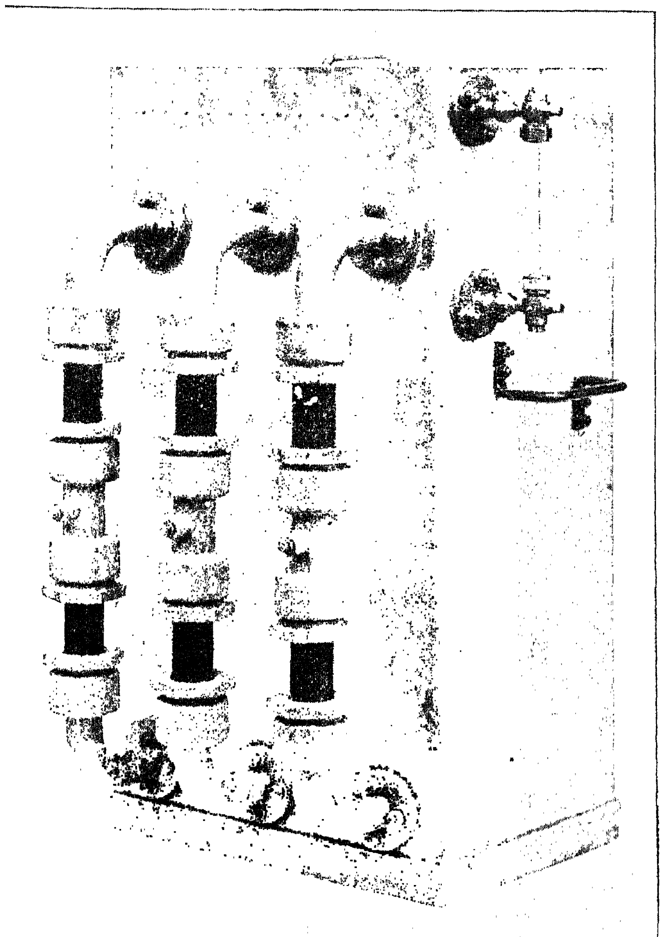


Fig. 155.

Wert annehmen, dass die Betriebsmittel dem nicht gewachsen sind, und ein Durchschlag an irgend einer schwachen Stelle erfolgt. Hier kann nur durch Vermehrung der Überspannungssicherungen Abhilfe geschaffen werden.

Es ist jedoch durchaus nicht immer gesagt, dass die schwächste Stelle, an der die Überspannung zum Durchbruch kommt, im Kabelnetz liegen muss. Ebenso gut kann diese Stelle der Generator, ein Transformator oder ein Schaltapparat sein. Da es wahrscheinlich ist, dass die Überspannung wellenförmig verläuft, so kommt auch noch der Ort in Frage, an welchem sich der höchste Wellenberg entwickelt. Besonders gefährdete Stellen sind erfahrungsgemäss lange Kabelausläufer, welche offen endigen, und die beim

plötzlichen Abschalten der Stromverbraucher zur Entstehung von Überspannung neigen, namentlich wenn die letzteren erhebliche Selbstinduktion besitzen.

Der in die Erdleitung der Überspannungssicherung einzubauende Widerstand soll induktionsfrei sein und selbst durch abnorme Energiemengen nicht zerstört werden können; dagegen empfiehlt es sich, durch Einbau von Drosselspulen[1]) in die Zuleitungen zu den übrigen Betriebsmitteln der Überspannung diesen Weg zu erschweren. Behufs Einschaltung in die Erdleitung eignet sich am besten ein Flüssigkeitswiderstand. In Fig. 155 ist ein von der A. E. G. für Dreiphasenstrom gebauter Widerstand dargestellt, welcher am zweckmässigsten im Anschluss an Hörnerfunkenstrecken angeordnet wird. Damit die Lichtbogen von zwei benachbarten Hörnern niemals sich vereinigen können, wodurch der Flüssigkeitswiderstand kurzgeschlossen würde, trennt man die einzelnen Hörner durch solide Zwischenwände.

b) Die Kontrolle des Freileitungsnetzes.

156. Revision.

Freileitungsnetze, besonders solche, welche hochgespannte Ströme führen, sind sowohl wegen der damit verbundenen Lebensgefahr, als auch aus Gründen der Betriebssicherheit ständig unter Aufsicht zu halten und regelmässig auf ihren guten Zustand zu prüfen.

Die notwendigen Revisionen werden in erster Linie durch häufiges Abgehen der einzelnen Strecken ausgeführt und haben den Zweck, alle sichtbaren Mängel festzustellen. Des ferneren ist regelmässig Aufschluss über die gute Beschaffenheit der Gestänge zu schaffen, zu welchem Zwecke den Sicherheitsvorschriften gemäss in jedem Frühjahr und Herbst eine eingehende Revision derselben vorgenommen werden soll.

Beim Abgehen der Strecke hat sich das Augenmerk vornehmlich auf den Durchhang der Drähte, den Zustand der Isolatoren und der Schutzvorrichtungen, ferner auf den senkrechten Stand der Stangen sowie den erforderlichen Abstand der Leitungen von Gebäuden und Bäumen zu richten.

Ein zu grosser Durchhang der Drähte begünstigt ein Zusammenschlagen derselben bei Wind und hat häufige Betriebsstörungen zur Folge. Zu fest gespannte Leitungen sind wiederum der Gefahr des Zerreissens ausgesetzt, wobei die herabhängenden Drähte Dritte gefährden. Durch einen infolge Isolatorenbruch herbeigeführten Erdschluss wird nicht immer ein Abschmelzen der vorgeschalteten Sicherung bewirkt, der Fehler also vom übrigen Netz nicht getrennt, was zur Folge hat, dass das Personal, welches bei Reparaturarbeiten den Mast berührt, gefährdet wird.

Ferner kann durch den Erdstrom bei hölzernen Gestängen eine Verkohlung oder Entzündung des Holzes entstehen; auch kann unter Umständen an der Fehlerstelle eine so grosse Erhitzung der Leitung eintreten, dass dieselbe abschmilzt bezw. zerreisst, und so wiederum eine Gefahr für die Passanten bildet.

Ein gesprungener Isolator, welcher nur einen sehr geringen Erdstrom zulässt, ist schwer auffindbar, weshalb vielfach bei eisernen Gestängen die Isolatoren mit hölzernen Stützen versehen werden, die sich durch die Einwirkung des Erdstromes entzünden und so die Fehlerstelle bemerkbar machen. Es kommt öfters vor, dass solch geringe Fehler sich beim Begehen der Strecke am Tage dem Auge gänzlich entziehen; in solchen Fällen geht

1) Vgl. Hdb. VII, S. 325.

man die fragliche Strecke bei Nacht ab und erkennt dann gewöhnlich den Fehler an der an der Fehlerstelle auftretenden Lichterscheinung.

Aus ihrer senkrechten Lage gekommene Gestänge weisen eine ungleiche Spannung der an ihnen befestigten Drähte bezw. erhöhten Durchhang der letzteren auf und müssen daher baldigst wieder gerade gestellt werden.

Zu der Zeit, wo die Zugvögel sich zur Reise sammeln, wird ein öfteres Abgehen der Strecken notwendig sein, da die Gestänge der Leitungen einen beliebten und willkommenen Ruhepunkt für die Vögel abgeben, was naturgemäss viele Opfer infolge Berührens der Leitungen erfordert. Die Kadaver bleiben gewöhnlich an den Drähten hängen und können bei bewegter Luft neue Kurzschlüsse hervorrufen.

Grosse Feinde einer Freileitung sind in unmittelbarer Nähe stehende Bäume mit ihren bis an die Leitungen reichenden Ästen, die bei windigem Wetter um so leichter Kurzschlüsse verursachen, je höher die Leitungsspannung ist. Man sollte keine Ausgabe scheuen, diese Störenfriede aus der nächsten Nähe der Leitungen zu entfernen; denn die einmalige Ausgabe für das Ankaufen der Bäume oder eventuell für das Besitzrecht des Bodens wird durch Ersparnisse an Bedienungspersonal wieder aufgewogen. Ausserdem ist hierdurch eine Hauptursache der Unsicherheit des Freileitungsbetriebes beseitigt, was dem Renommee des Werkes sehr zu statten kommt.

Je nach den örtlichen Verhältnissen wird die Periode der regelmässig wiederkehrenden Revisionen zur Auffindung der hier geschilderten, auf sichtbaren Fehlern beruhenden, und durch Begehen der Strecken aufzudeckenden Störungsursachen eine längere oder kürzere sein dürfen, sollte jedoch niemals grösser als vierzehntägig sein.

Die halbjährlichen Revisionen, welche Aufschluss über die Gestänge, Stützen und Anker geben sollen, fallen verschieden aus, je nachdem es sich um hölzerne oder eiserne Gestänge handelt. Bei hölzernen Gestängen wird zunächst durch Beklopfen mit einem harten Gegenstand aus dem Klange auf die Gesundheit des Holzes geschlossen. Ein heller Ton lässt vermuten, dass der Mast gesund ist. In zweifelhaften Fällen ist das Holz direkt zu untersuchen.

Die Stelle, an welcher der Mast zunächst zu faulen beginnt, ist die Austrittsstelle aus dem Erdboden und dehnt sich je nach der Bodenbeschaffenheit bis einen Meter tief aus. Zur Untersuchung legt man den Mast soweit frei und stösst einen Stichel in das Holz hinein. Aus dem sich bietenden Widerstande erkennt man leicht, ob das Holz faul ist oder nicht. Lässt jedoch diese Art der Untersuchung einen Schluss auf die Beschaffenheit des Holzes mit Sicherheit nicht zu, so bohrt man mit einem etwa 5 mm starken Bohrer den Mast an und ersieht aus dem Bohrmehl, wie das Holz beschaffen ist. Nach erfolgter Untersuchung muss das Bohrloch durch Hartholz gut wieder zugekeilt werden.

Diese Untersuchung der Maste vereinigt man am besten mit der periodisch zu wiederholenden Tränkung derselben durch Karbolineum, das sich als Konservierungsmittel ausgezeichnet bewährt hat, sofern man Sorge dafür trägt, dass das Karbolineum auf das möglichst trockene Holz in heissem Zustande aufgetragen wird, wobei es tief in die Poren des Holzes eindringt.

Eiserne Maste sind an der Austrittsstelle besonders dem Rosten ausgesetzt und werden hier durch einen Teeranstrich geschützt. Eine derartige jährliche eingehende Revision und Behandlung der Maste, Stützen und Anker wird die Lebensdauer derselben bedeutend verlängern.

Bei Holzmasten hängt die Lebensdauer sowohl von der Art der Imprägnierung, als auch ganz besonders von der Beschaffenheit des Holzes selbst ab, und man wird immer bemüht sein müssen, Holz von solchen Bäumen zu erhalten, die langsam gewachsen sind, also z. B. von der Nordseite der Berge stammen. In südlichen Ländern wird man auf die Verwendung einheimischer Nadelhölzer ganz verzichten müssen und dafür Kastanie oder Eiche verwenden. Von wesentlichem Einfluss auf die Lebensdauer der Holzmaste ist auch die Bodenart am Standort, namentlich begünstigt aufgeschütteter Boden das Faulen der Hölzer.

Ausser der Stelle, an welcher der Mast aus dem Boden heraustritt, bildet auch jede angebrachte Verzierung und jeder Nagel eine Quelle der Zerstörung, besonders wenn die Luftbewegung gehemmt ist. Um zu verhindern, dass sich bei den Befestigungsschrauben Feuchtigkeit in das Innere des Holzes hineinzieht und dadurch das umliegende Holz zum Faulen bringt, werden alle Schrauben und Nägel in eingefettetem Zustande montiert.

Aber nicht nur die Maste selbst erfordern eine aufmerksame Unterhaltung, sondern auch alle am Mast befestigten Konstruktionsteile wie Konsolen, Rahmen u. s. w., die man vor den Einflüssen der Witterung durch Erhaltung eines undurchlässigen Anstriches zu schützen sucht.

Die Instandhaltung der Isolatoren macht bei Niederspannungsnetzen keine besondere Mühe, während bei Hochspannungsnetzen darauf Bedacht zu nehmen ist, dass durch Unreinigkeiten kein Übertritt des Stromes zur Erde eingeleitet wird, und dass der Isolator durch die resultierende Erwärmung nicht platzt. Bei den älteren Modellen der Isolatoren mit wenig Zwischenraum im Innern der Glocken ist der Lichtzutritt an dieser Stelle abgeschlossen, und es bilden daher diese Stellen willkommene Schlupfwinkel für Insekten, die sich einspinnen und so die isolierende Fläche verringern. Unter Umständen ist es notwendig, die Isolatoren alle Jahre von derartigen Verunreinigungen zu säubern. Neuere Modelle, die möglichst viel Licht in die Zwischenräume der Glocken dringen lassen, werden weniger zu dieser zeitraubenden Arbeit Veranlassung bieten.

157. Vorrichtungen zum Schutz von Personen.

Schutzvorrichtungen sind erforderlich, sowohl um ein Herabfallen der Drähte zu verhindern, als auch um die Gefahren, welche ein zur Erde übertretender elektrischer Strom bietet, zu beseitigen. Im allgemeinen wird die Gefahr um so grösser sein, je höher die Spannung ist.

Gegen das Herabfallen der Drähte sind Schutznetze das sicherste Mittel. Da dieselben, wenn sie Nutzen bringen sollen, sehr reichlich dimensioniert sein müssen, so tritt die Gefahr ein, dass durch dieselben bei Sturm und bei Schneefall die Gestänge zu stark beansprucht werden, und Brüche entstehen. Man wird also zweckmässig die Verwendung von Schutznetzen auf die Stellen beschränken, wo die Möglichkeit der Gefährdung Dritter sehr gross ist.

In der Schweiz hält man die Gefahren, welche die Schutznetze mit sich bringen, für grösser als ihren Nutzen und hat sie daher ganz aufgegeben. Es werden an deren Stelle lediglich bei Wegkreuzungen eiserne Bügel verlangt, welche den herabfallenden Draht auffangen und erden sollen, und ausserdem eine möglichst kurze Entfernung von Mast zu Mast.

Die Gefahr, welche ein Erdschluss bei einer Hochspannungsleitung bietet, wird dadurch beseitigt, dass das Auftreten einer grösseren Spannungsdifferenz als sie ein Organismus ohne Schaden zu nehmen verträgt, durch besondere Vorkehrungen auf dem ganzen Stromwege, soweit derselbe sich in erreich-

barer Entfernung befindet, verhindert wird, und dass bei jeder Überschreitung dieser Grenze eine automatische Abschaltung der fehlerhaften Leitung stattfindet.

Da die herrschende Spannungsdifferenz eines beliebigen Abschnittes des Stromweges dem Produkt aus Stromstärke und Widerstand entspricht, bezw. von der Stromdichte, dem spezifischen Widerstand der Strombahn und der Länge des berührten Abschnittes abhängt, so ist es zur Vermeidung von Gefahren erforderlich, solche Vorkehrungen zu treffen, welche das Anwachsen der Spannungsdifferenz über das zulässige Mass entweder durch Verminderung der Stromdichte oder des spezifischen Widerstandes des vom Körper berührten Stromkreises sicher verhindern.

Verfolgen wir den Stromweg von der Fehlerstelle, z. B. an einem defekten Isolator, bis zur Ausbreitung des Stromes im Erdreich, so ist zunächst der Mast ein Teil des Stromkreises für den Erdstrom. Ist der Mast ein eiserner, so bietet derselbe unter normalen Verhältnissen nirgends zwei Punkte, zwischen denen das Produkt aus Erdstromstärke und Widerstand eine unzulässig hohe Spannungsdifferenz ergiebt. Bei einem Holzmaste ist dies nicht immer der Fall, weshalb hier eine Verbesserung der Leitungsfähigkeit des Mastes entweder durch eine besondere Erdleitung von den die Isolatoren tragenden Traversen und Stützen zur Erde geboten erscheint, oder indem man den Holzmast vom Erdboden bis in Reichhöhe mit einem geerdeten Metallband [1]) umgiebt.

Vom Mast tritt der Erdstrom in das Erdreich ein, um von da zur Erdungsstelle des anderen Poles oder der anderen Phase zu gelangen, wobei einmal der Übergangswiderstand vom Mast bezw. von der besonderen Erdleitung zur Erde, und sodann der Erdwiderstand selbst eine grosse Rolle bei der Beurteilung der Gefahr spielt, weil hier auf kurzem Wege ein erheblicher Widerstandswert vorliegen kann. Ein vor dem Mast stehender Mensch schaltet sich bei der Berührung des Mastes zu diesem Widerstand parallel, und es kann so ein grosser Teilstrom seinen Körper durchfliessen und ihn töten.

Die Aufgabe besteht also auch darin, den Übergangswiderstand vom Mast zur Erde auf ein möglichst kleines Mass zu bringen und dafür zu sorgen, dass sich der Erdstrom im Erdreich so weit wie nur möglich ausbreitet, damit die Stromdichte am Standort und damit die Spannungsdifferenz an einem gegebenen Abschnitt des Erdbodens gering ausfällt.

Der Übergangswiderstand wird bei gegebener Berührungsfläche um so geringer sein, je besser das Erdreich leitet, also wenn die Elektrode bis ins Grundwasser geführt wird. Im übrigen wird der Übergangswiderstand einen um so kleineren Wert annehmen, je grösser die Berührungsfläche ist.

Die Mittel, welche geeignet sind, in diesem Sinne die Gefahr zu beseitigen, sind sehr mannigfaltig [2]) und unschwer den gegebenen Verhältnissen so anzupassen, dass auch auf alle Fälle der geforderte Schutz erzielt wird.

Bei Drehstromanlagen wird durch die Erdung der Neutralen eine automatische Abschaltung der durch einen Isolationsfehler an Erde gelegten Leitung dadurch sehr begünstigt, dass alsdann ein Abschmelzen der zugehörigen Sicherung infolge Stromüberlastung leicht eintritt. Ist man wegen der Ein-

1) Vgl. ETZ 1905, S. 489.
2) Vgl. ETZ 1902, S. 1129.

wirkung auf die Telephon- und Telegraphenleitungen gehindert, den Nullpunkt des Drehstromsystems ständig an Erde zu legen, so lässt sich eine automatische Erdung der Neutralen bei Unsymmetrie des Systems, die ja stets bei Erdschluss eintritt, auf folgende Weise erreichen. Von drei durch schwache Isolation getrennten Metallplatten *a*, *b*, *c* (Fig. 156) sind die beiden äusseren einerseits mit der Neutralen und andererseits mit der Erde verbunden. Tritt Unsymmetrie ein, so wird der Nullpunkt unter Spannung gegen Erde gesetzt, und die Isolation zwischen *a* und *b* sowie *b* und *c* durchschlagen, der Nullpunkt also mit Erde direkt verbunden. Damit dieser Zustand angezeigt wird, ist zu den Platten *b* und *c* ein Relais parallel geschaltet, welches seinen Anker anzieht und den Stromkreis einer Alarmglocke schliesst, sobald die Isolation zwischen *a*—*b* zerstört ist. Zum Schutz dieses Hilfsstromkreises sind demselben die Sicherungen *d* vorgeschaltet. Diese vom Verfasser angegebene Anordnung hat sich bei den Berliner Elektrizitätswerken sehr gut bewährt.

158. Vorrichtungen zum Schutz der Betriebsmittel.

Freileitungen sind den atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt, und man ist bemüht gewesen mit der Ausdehnung der Anlagen und der Steigerung

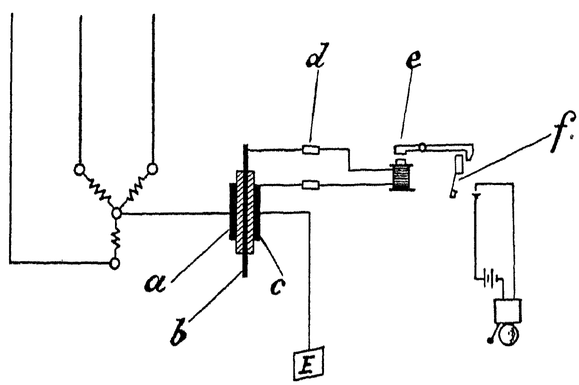


Fig. 156. Spannungssicherung für den neutralen Punkt mit Signalvorrichtung.

der Spannung auch die Schutzvorrichtungen gegen die Gefahren der atmosphärischen Entladungen mehr und mehr auszubilden.

Eine derartige Schutzvorrichtung soll der in die Freileitung gelangten atmosphärischen Elektrizität einen möglichst freien Weg zur Erde bieten und doch verhindern, dass der Betriebsstrom dauernd denselben Weg nimmt; auch ist ein übermässiges Anwachsen des Betriebsstromes beim Ansprechen der Schutzvorrichtung zu verhindern.

Zur Lösung dieser Aufgabe sind vorwiegend drei verschiedene Wege durch die Schaffung eines Stromweges von jeder Leitung zur Erde eingeschlagen, und zwar:

1. unter Zwischenschaltung einer Funkenstrecke,
2. unter Zwischenschaltung eines Kondensators und
3. durch Zwischenschaltung eines Widerstandes allein.

Funkenstrecken werden so konstruiert, dass nach Ableitung der atmosphärischen Ladung der Lichtbogen von selbst erlischt, und der nachfolgende Betriebsstrom unterbrochen wird. Es ist also die Grösse der Funkenstrecke von der Betriebsspannung abhängig zu machen.

Da ein einziger Lichtbogen nur einen relativ geringen Widerstand besitzt und nur einen geringen Betrag der Spannung absorbiert, so würde beim Ansprechen mehrerer Funkenstrecken ein Kurzschluss für die Betriebsmaschine resultieren, weshalb eine solche Vorrichtung einen angemessenen Widerstand im Erdstromkreis enthalten muss,[1]) der allerdings auch einen Widerstand gegen die freie Ableitung der atmosphärischen Ladung bedeutet.

Die Funkenstrecken müssen so eingestellt werden, dass sie bereits bei einer Überspannung ansprechen, bei der die Betriebsmittel noch nicht gefährdet sind, wobei man sich eines Prüftransformators bedient. Ihr Anbringungsort ist da gegeben, wo die Überspannung den höchsten Wert erreicht, bezw. wo diese den Betriebsmitteln besonders gefährlich werden kann.

Für geringere Betriebsspannungen haben Funkenstrecken den Nachteil, dass sie sehr eng eingestellt werden müssen, um ihren Zweck zu erfüllen, wobei dann leicht Staub und sonstige Fremdkörper ein unerwünscht häufiges Ansprechen der Überspannungssicherung verursachen. Hier hilft man sich mit Hilfsfunkenstrecken, welche die Hauptfunkenstrecke erst auslösen, oder durch eine Kombination mit Kondensatoren.[2]) Das Auslöschen des Lichtbogens kann dabei durch die Blasewirkung magnetischer Felder unterstützt werden.

Als Widerstand für die Erdleitung kommen Wasser-, Metall- oder Graphitwiderstände in Betracht. Die letzteren verändern sich durch die Wirkung des Stromes und müssen von Zeit zu Zeit je nach der Beanspruchung ersetzt werden.

Bei Wasserwiderständen, bei welchen nicht ständig frisches Wasser zugeführt wird, muss durch Zusatz von Sublimat oder ähnlichen Mitteln das Faulen des Wassers verhindert werden.

Gegen das Verdunsten des Wassers hilft am besten eine dünne Ölschicht. Sprechen Funkenstrecken mit Wasserwiderständen öfters an, so wird das Wasser durch die Stromwärme erhitzt und verdampft. Man muss also bei solchen Widerständen für eine Nachfüllung Sorge tragen. Ist der Wasserwiderstand derartig konstruiert, dass er mit einem grösseren Behälter kommuniziert, so hat man Sorge dafür zu tragen, dass die Elektroden gross genug gewählt werden, und dass sich bildender Wasserdampf leicht abziehen kann, damit keine Funkenbildung entsteht, die eine Zerstörung der aus Isoliermaterial hergestellten Röhre hervorruft.

Zur Unterstützung der schützenden Wirkung der Funkenstrecken können Drosselspulen Verwendung finden, welche zwischen Betriebsmittel und Funkenstrecke angeordnet werden, und die Aufgabe haben, der Überspannung den Weg nach Maschinen und Transformatoren zu versperren. Sie schützen besonders bei Gewittern, wo Schwingungen höherer Ordnung durch die Oscillationen der Blitzentladungen entstehen. Da die Drosselwirkung mit der Schwingungszahl zunimmt, so wächst auch mit dieser die schützende Wirkung.

Ausser der direkten Einwirkung von Entladungen und ihren Begleiterscheinungen bei Gewittern ist eine Freileitung noch den Ladungserscheinungen unterworfen, welche z. B. bei Schneestürmen oder bei besonderen elektrischen Zuständen der Atmosphäre auftreten, die oft wochenlang zu bestimmten Tagesstunden sich wiederholen. Die Abführung dieser Elektrizitätsmengen erfolgt am zweckmässigsten mittels Widerstände. Sehr gut bewährt

1) Vgl. Hdb. VII, S. 318.
2) Vgl. ETZ 1905, S. 485.

hat sich für diesen Zweck ein Wasserstrahlwiderstand, womit allerdings ein ständiger Verlust verbunden ist.

Der Nachteil der Funkenstrecken besteht darin, dass durch dieselben leicht Oscillationen hervorgerufen werden, die neue Überspannungen erzeugen. Diesen Übelstand sucht eine Anordnung zu vermeiden, bei der zwischen Leitung und Erde Kondensatoren geschaltet werden. Da der Ladestrom von Kondensatoren der Spannung und Schwingungszahl proportional ist, so wird, wenn durch irgend einen Anlass eine elektrische Anlage in Schwingungen höherer Ordnung gerät, der Ladestrom wesentlich anwachsen und so eine Dämpfung herbeiführen. Wählt man den Kondensator z. B. für eine Anlage mit 6000 Volt gegen Erde und 50 Perioden zu 0·01 Mikrofarad, so stellt sich der normal zur Erde ständig abfliessende Strom auf:

$$2 \times 3{\cdot}14 \times 6000 \times 50 \times 0{\cdot}01 \times 10^{-6} = 0{\cdot}02 \text{ Amp.}$$

Vermehren sich aber die Oscillationen auf 100 000, was erfahrungsgemäss ein niedriger Wert ist, so ergiebt sich:

$$2 \times 3{\cdot}14 \times 6000 \times 100\,000 \times 0{\cdot}01 \times 10^{-6} = 38 \text{ Amp.}$$

Man erkennt daraus, dass der ständige Verlust sehr gering ist, und bei höheren Schwingungen doch eine bedeutende Energie zur Erde abfliessen kann. Bedingung ist, dass sowohl die Belegung als auch das Dielektrikum eine grosse momentane Beanspruchung auszuhalten vermag, was in hervorragendem Masse durch reichliche Wärmeabfuhr unterstützt wird.

159. Vorrichtungen zum Schutz gegen andere Anlagen.

Starkstromleitungen sollen bei Kreuzungen mit Schwachstromleitungen möglichst über den letzteren geführt werden; da, wo dies nicht möglich ist, muss eine sorgfältige Erdung der Schutzvorrichtungen bewirkt werden. Die Reichspost verlangt bei Kreuzungen die Verwendung isolierter Drähte. Um solche gegen die Einflüsse der Witterung widerstandsfähiger zu machen, empfiehlt es sich, die äussere Umspinnung mit Mennige zu imprägnieren. Ein weiterer guter Schutz wird durch die Anbringung eines gut geerdeten blanken Drahtes in einer Entfernung von etwa einem Meter oberhalb der Freileitung erreicht.

Siebenter Abschnitt.

Aufstellung und Verarbeitung der Betriebsstatistik.

Die Betriebsstatistik soll die Handhabe bieten, zu jeder Zeit eine erschöpfende Beurteilung der Art der Betriebsführung zu ermöglichen, namentlich wie sich die Menge des erzeugten und abgesetzten Stromes zu den Aufwendungen für denselben verhält. Ferner dient die Betriebsstatistik dazu, die Entwickelung des Unternehmens zahlenmässig zur Anschauung zu bringen und Unterlagen für eine hinreichend genaue Vorausberechnung der zu erwartenden Inanspruchnahme des Werkes zu geben, damit etwa erforderliche Erweiterungen der Betriebsmittel rechtzeitig zur Ausführung gebracht werden können. **160.** Zweck der Betriebsstatistik.

Zu diesem Zwecke sind die Betriebsdaten für jede Phase des Betriebes zu ermitteln und zu verarbeiten. Zur Erleichterung der Beurteilung werden die gewonnenen Resultate denen einer früheren Periode gegenübergestellt. Hierbei ist es zweckmässig, die Abweichungen in Prozenten auszudrücken.

Wird der Betrieb in allen Teilen einwandsfrei geführt, und wird das Werk seitens der Konsumenten befriedigend in Anspruch genommen, so müssen auch die Erfolge durch Prosperieren des Werkes in unverkennbarer Weise zum Ausdruck gelangen und werden den Vergleich mit denjenigen anderer Werke, welche unter ähnlichen Verhältnissen arbeiten, nicht zu scheuen haben.

Die grosse Bedeutung, welche der Rentabilität eines jeden Unternehmens, mag es sich in städtischer oder privater Regie befinden, überall beigemessen wird, muss einen jeden strebsamen Betriebsleiter veranlassen, seine ganze Arbeitskraft einzusetzen, um aus dem Unternehmen das herauszuwirtschaften, was unter den gegebenen Verhältnissen erreichbar ist. Diese Aufgabe lässt sich dauernd nur lösen, wenn der Betriebsleiter zu jeder Zeit über eine jede Phase des Betriebes bis ins kleinste Detail orientiert ist, und hierzu bietet sich ihm als die beste und zuverlässigste Handhabe eine gewissenhaft und mit Sachkenntnis geführte Statistik.

a) Betriebsdaten aus dem Kesselhause.

Zu den wichtigsten Daten des ganzen Betriebes gehört die genaue Aufzeichnung der verfeuerten Kohlenmenge, da deren Kosten einen grossen **161.** Kohlenverbrauch

Anteil an den Gesamtausgaben ausmachen. Zur Ermittelung der verfeuerten Kohlen wird das jedem Kessel zugeführte Quantum vom Heizer notiert. Wenn angängig, soll das Kohlengewicht direkt bestimmt werden, andernfalls begnügt man sich mit einem tarierten Raummass, wozu die Kohlenwagen, mit welchen die Kohlen vom Lagerplatz oder vom Bunker vor den Kessel geschafft werden, benutzt werden können, indem der Inhalt das erste Mal ausgewogen wird. Die Aufzeichnungen eines jeden Heizers werden vom Maschinenmeister gesammelt und für jeden Tag gesondert in das Betriebsjournal eingetragen. Hierbei ist es erwünscht, noch eine Absonderung der Gewichtszahlen des zum Anheizen der Kessel benötigten Quantums vorzunehmen, da bei einer Beurteilung der Tätigkeit des Heizers sowie der Ausnutzung des Brennmaterials dieser Kohlenverbrauch ausser Ansatz bleiben muss.

Wird das zum Anheizen benötigte Kohlenquantum für sich ermittelt, so kann mit leichter Mühe festgestellt werden, ob es vorteilhafter ist, die überflüssigen Kessel während der Betriebspausen ganz ausgehen zu lassen oder das Feuer bei geschlossenem Rauchschieber und abgesperrtem Dampfventil durch Bedecken mit Asche zu dämpfen, so dass es am anderen Tage nur neu angefacht zu werden braucht.

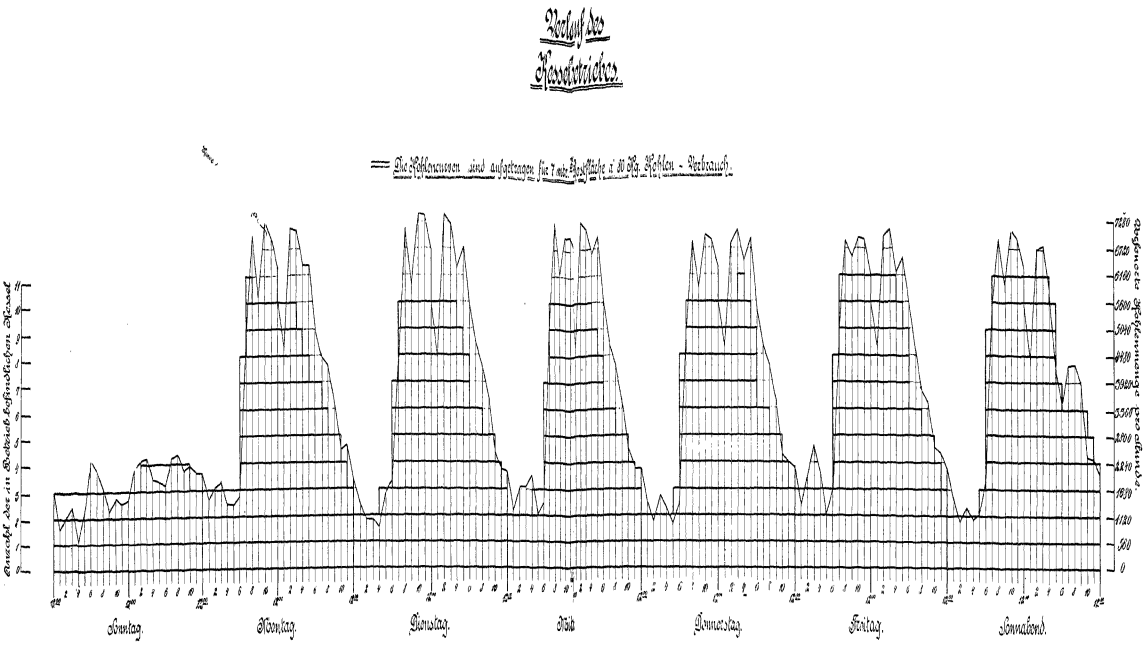


Fig. 157.

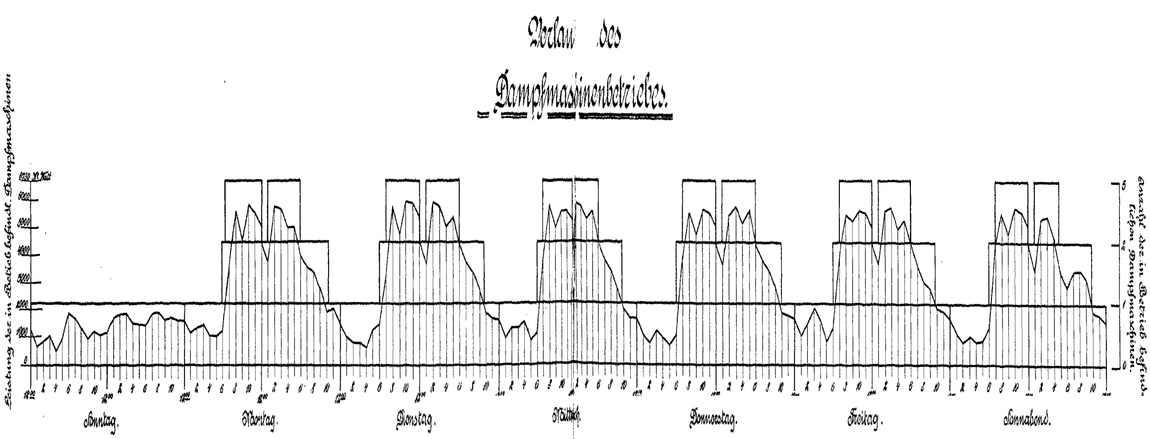


Fig. 158.

Der tägliche Kohlenverbrauch wird für jeden Monat aufaddiert, um nicht nur statistisch weiter verwertet zu werden, sondern um auch eine Kontrolle und eventuelle Ausgleichung des Lagerbestandes vornehmen zu können. Der Regel nach wird die angelieferte Kohlenmenge nicht genau mit dem als verfeuert festgestellten Quantum übereinstimmen, da stets ein gewisser Verlust namentlich durch Verdunsten des aufgenommenen Wassers eintritt. Das

sich ergebende Manko muss als Betriebsverlust angesehen werden, und wird zu dem Monatsverbrauch addiert. Die monatliche Ausgleichung des Fehlbetrages empfiehlt sich deshalb, damit die Zahlenwerte der Monatsstatistik, welche die weitgehendste Verarbeitung finden, nicht am Jahresschluss nach der Inventuraufnahme einer nachträglichen Korrektion unterworfen werden müssen. Die Ausgleichung des Mankos am Jahresschluss durch Verbuchen des Betrages als Betriebsverlust ist weniger zu empfehlen, weil alsdann die hinreichende Kontrolle über das Manko fehlt.

Zur richtigen Beurteilung des Heizeffektes sind ausser dem Heizwert noch die Herdrückstände zu bestimmen und statistisch zu verwerten, indem der prozentuale Gehalt an Asche und Schlacken ausgerechnet wird. Kohlen mit einem hohen Aschen- und Schlackengehalt können niemals dieselbe Verdampfung geben wie ein Material von gleichem Heizwert mit wenig Rückständen, solange in beiden Fällen richtig gefeuert wird und das Material annähernd den gleichen Luftüberschuss benötigt.

Aufgabe der Betriebsstatistik ist es, die Betriebsresultate in eine solche Form zu bringen, dass der Betriebswert des Brennmaterials zum Ausdruck kommt, und eine entsprechende Preisreduktion für das minderwertige Brennmaterial Platz greifen kann.

Am einfachsten werden diese Verhältnisse zur Anschauung gebracht, wenn die Kohlenkosten einschliesslich sämtlicher Transportkosten auf die Einheit der erzeugten und nutzbar abgegebenen elektrischen Energie sowie auf die Menge des erzeugten Dampfes bezogen werden.

Die Tabelle XIX zeigt einen Entwurf für die Zusammenstellung der während eines vollen Monats gewonnenen Zahlenergebnisse in Bezug auf den Brennmaterialverbrauch. Es ist unterschieden worden zwischen dem Verbrauch zum Anheizen und dem zur eigentlichen Stromerzeugung. Ein am Monatsschluss etwa festgestelltes Manko wird, wie schon erwähnt, zum Monatsverbrauch addiert. Handelt es sich stets um beträchtliche Mengen, so empfiehlt es sich, hierfür noch eine besondere Rubrik einzuführen und das Manko in Prozenten vom totalen Verbrauch auszudrücken.

In der Tabelle folgt sodann eine Rubrik für den Betrag des gesamten zur Verrechnung gelangenden Brennmaterials. Dieser Posten soll auch die Kosten für die Kohlenanfuhr und für die Abfuhr der Rückstände enthalten. Werden die letzteren nutzbar verwertet, so ist der Erlös von den Abfuhrkosten in Abzug zu bringen bezw. dem Kohlenkonto gutzuschreiben.

Die beiden weiteren Rubriken über Aschengehalt und Heizwert der Kohlen dienen zur Beurteilung der Qualität der verfeuerten Kohlen. Diese Zahlen erfordern eine um so aufmerksamere Beurteilung, je verschiedener die verfeuerten Kohlensorten sind. Aber auch bei Bezug aus ein und derselben Grube kann eine zeitweilige Kontrolle nützlich sein, weil es häufig vorkommt, dass die Qualität sich im Laufe der Zeit ändert.

Die sich hieran anschliessende Rubrik zeigt, wie die Kesselanlage im Monatsdurchschnitt beansprucht worden ist. Die mittlere Rostbeanspruchung berechnet sich durch Division der Gesamtsumme aller Kesselbetriebsstunden und der Summe der zugehörigen Rostflächen in das verfeuerte Kohlenquantum. Die so erhaltene Zahl hat deshalb Bedeutung, weil die Grösse der Rostbeanspruchung von Einfluss auf den Nutzeffekt ist.

Die beiden vorletzten Rubriken der Tabelle XIX geben den Brennmaterialverbrauch pro erzeugte und nutzbar abgegebene Energieeinheit an. Bei jedem

gut geführten Betriebe sollen diese Werte bei gleicher Qualität der Kohlen von Jahr zu Jahr mit zunehmender Grösse des Werkes bezw. mit steigendem Stromabsatz merklich abnehmen.

Die wirtschaftliche Betriebsführung im Kesselhause wird durch die letzte Rubrik der Tabelle XIX besonders beleuchtet, indem die verbrauchten Kohlen in Beziehung zu der erzeugten Dampfmenge gesetzt sind.

Der grosse Vorteil, welcher durch die letzten drei Rubriken bei der Beurteilung der wirtschaftlichen Betriebsführung geboten wird, liegt darin, dass aus diesen Rubriken bei einer durch das Brennmaterial eingetretenen Verteuerung der Stromselbstkosten sofort erkannt werden kann, ob der Fehler im Kesselhause, im Maschinenhause oder im Leitungsnetz mit seinen Anschlüssen zu suchen ist, ein im praktischen Betriebe nicht hoch genug anzuschlagender Vorzug, da das Aufsuchen von versteckten Fehlern eine sehr zeitraubende und unter Umständen schwierige Aufgabe ist.

Es ist ferner in der Tabelle XIX noch eine Unterteilung im Kohlenverbrauch für Licht- und Kraftstrom und für Bahnstrom vorgesehen, was namentlich dann nützlich ist, wenn die getrennten Betriebe sich wesentlich unterscheiden, z. B. in der Grösse und Güte der Maschinen, in der Betriebsführung oder insbesondere in der Benutzungsdauer.

Als letzter Punkt der Horizontalreihen ist der Unterschied der Ergebnisse gegen die der gleichen Periode des Vorjahres vor Augen geführt und der Betriebsleiter darf nicht eher ruhen, bis alle Abweichungen ihre befriedigende Erklärung erfahren haben, damit der eigentliche Zweck der Betriebsstatistik voll zur Geltung gelangt.

Sehr zweckmässig ist es, die Menge des produzierten Dampfes zu ermitteln und statistisch zu verarbeiten, was auch bei der Beurteilung des Maschinenbetriebes von ausserordentlichem Nutzen sein wird. Am zweckmässigsten wird der empfangenen Dampfmenge die gelieferte elektrische Energiemenge gegenübergestellt, vgl. Tabelle XVI. **162.** Dampferzeugung.

Das scheinbar sehr einfache Mittel zur Feststellung der erzeugten Dampfmenge, einen Wassermesser in die Kesselspeiseleitung einzufügen, hat den Nachteil, dass alsdann alles Wasser, welches dem Kessel entzogen wird, wie namentlich beim Ablassen oder Ausspülen von Schlamm, ebenfalls besonders gemessen werden muss, um das richtige tatsächlich verdampfte Quantum zu erhalten.

Einfacher und event. auch genauer ist die direkte Dampfmessung z. B. mit Hilfe des im ersten Teil, S. 136, angegebenen Dampfverbrauchmessers[1]) von Gehre. Ist ein solches Instrument vorhanden, so wird neben dem täglich notierten Kohlenquantum im Betriebsjournal auch das täglich produzierte Dampfquantum eingetragen.

Wird der erzeugte Dampf überhitzt geliefert, so empfiehlt es sich, durch fortlaufende Ermittelung der Dampftemperatur auch die Qualität desselben zu kontrollieren und event. statistisch zu verarbeiten.

Ausser den Aufschreibungen über den Materialverbrauch, wozu auch der Verbrauch an Chemikalien für die Enthärtung des Wassers gehört, sind die Daten über die tägliche Betriebsdauer jedes einzelnen Kessels zu sammeln. Die Kesselbetriebsstunden ergeben sich aus den Notierungen über die An- und Abstellung der einzelnen Kessel. Die Summe dieser Einzelstunden giebt eine Handhabe zur Bestimmung des Zeitpunktes für die Kesselreinigung und **163.** Kesselbetriebsstunden.

1) Vgl. auch S. 229.

Revision, welch letztere zweckmässig in ganz bestimmten Perioden vorzunehmen ist.

In Tabelle XVI ist gezeigt, in welcher Weise die Beanspruchung und Leistung der Kessel zweckmässig zusammengestellt und verarbeitet werden. Die vorgesehenen, auf den Betrieb des Kesselhauses sich beziehenden Daten umfassen die Summe der im Monat erreichten Betriebsstunden sämtlicher Kessel, ferner die Summe der dabei aufgewendeten Heizerstunden und das von den Kesseln während dieser Zeit erzeugte Dampfquantum.

Die zur Beurteilung der Kesselanlage erforderlichen Angaben über die Anzahl der im Kesselhause geleisteten Heizerstunden sowie über die gezahlten Löhne ergeben sich aus der Lohnliste.

Will man noch eine Beurteilung der Inanspruchnahme der Heizer durch die Statistik schaffen, so werden die geleisteten Heizerstunden in Beziehung zu der Summe der Kesselbetriebsstunden und dem verfeuerten Kohlenquantum gebracht.

Auch in der Tabelle XVI ist eine Unterscheidung zwischen den Betriebsergebnissen bei der Erzeugung von Licht- und Kraftstrom und von Bahnstrom gemacht, auch fehlt nicht der Vergleich mit den Ergebnissen der gleichen Periode des Vorjahres.

Eine weitere Rubrik ist noch eingefügt, um den Grad der tatsächlich erreichten Belastung der Betriebsmittel im Verhältnis zu ihrer nominellen Leistungsfähigkeit vor Augen zu führen, weil hiervon der Wirkungsgrad der ganzen Anlage stark beeinflusst wird.

Da die Bedienung der Kessel am leichtesten bei normaler Beanspruchung ökonomisch gehandhabt werden kann, und bei zu schwacher Beanspruchung während des Hauptbetriebes unnötige Kapitalaufwendungen mit Zinsverlusten resultieren, indem alsdann die Kesselanlage entsprechend grösser gehalten werden muss, so wird man Wert darauf legen, dass zum mindesten während des Stationsmaximums keine überschüssigen Kessel im Betrieb bleiben, dass also die Rostbeanspruchung sich dem Normalwert möglichst nähert. Fig. 157 veranschaulicht, in welcher einfachen Weise eine nachträgliche übersichtliche Kontrolle des Kesselbetriebes auf graphischem Wege möglich ist.

Zunächst ist in Fig. 157 das stündlich verfeuerte Kohlenquantum aufgetragen, und in die Fläche der so erhaltenen Kurve, durch Horizontallinien abgeteilt, die Anzahl der zu jeder Stunde in Betrieb befindlich gewesenen Kessel. Der Massstab der Kesselanzahl ist so gewählt, dass die Ordinaten bei einer Rostbeanspruchung von 80 kg/qm mit dem Kohlenmassstab übereinstimmen. Die Länge der einzelnen Rechtecke für die Betriebskessel ergiebt die Betriebsstundenzahl jedes einzelnen Kessels. Da, wo die Kohlenkurve die Rechtecke der aufgetragenen Kesselanzahl übersteigt, hat also eine erhöhte Beanspruchung der Kessel stattgefunden. Umgekehrt waren da, wo die Kohlenkurve innerhalb der Rechtecke verläuft, die Kessel unter dem normalen Wert beansprucht.

Von Zeit zu Zeit auf diese Weise vorgenommene Stichproben können einen sehr vorteilhaften Einfluss auf die wirtschaftliche Betriebsführung im Kesselhause ausüben.

164. Personalbedarf. Des weiteren lässt sich aus der Kesselkurve das benötigte Bedienungspersonal ermitteln, und die geeignetste Stunde für den Schichtwechsel festlegen. Der Schichtwechsel hat zweckmässig so stattzufinden, dass sich zwei Schichten während des Maximums entsprechend dem erhöhten Bedarf überdecken, also während dieser Zeit von beiden Schichten Dienst getan wird.

Führt dieses nicht zu der gewünschten Personalersparnis, so werden für die Bedienung der Tag und Nacht durchgehenden Kessel drei Schichten eingeführt, und es wird der Mehrbedarf an Personal beim Höchstbetrieb durch eine lediglich Tagesdienst versehende Kolonne gedeckt.

b) Betriebsdaten aus dem Maschinenhause.

Der Maschinenbetrieb liefert an statistisch verwertbaren Zahlen zunächst die tägliche Betriebsdauer jeder einzelnen Maschine, wofür die Tabelle XVI die entsprechende Rubrik bietet, welchen Zahlen die Summe der zur Bedienung der Maschinen erforderlichen Arbeiterstunden gegenübergestellt ist. **165.** Dauer des Maschinenbetriebes.

Um einen Vergleich mit den Bedienungskosten anderer Maschinengattungen und Grössen zu ermöglichen, muss die nominelle Leistung berücksichtigt werden, was in einfacher Weise dadurch geschieht, dass die Maschinenbetriebsstunden mit der nominellen Leistungsfähigkeit multipliziert werden, und diese gefundene Zahl erst in Verhältnis zu den Arbeiterstunden gesetzt wird, welche Zahlenwerte die Tabelle XVIII vorsieht. Da es jedoch keinen Zweck hat diese Vergleiche alle Monate vorzunehmen, so ist eine entsprechende Rubrik für den Entwurf der Tabelle für die Monatsstatistik nicht vorgesehen.

Die Betriebsstunden der Dynamomaschinen sind identisch mit denjenigen der Antriebsmaschinen, und die Wiederholung der betreffenden Zahl erübrigt sich daher hierfür.

Jede Maschine benötigt zu einem störungsfreien Gange Schmieröl und zur sachgemässen Instandhaltung Putzmaterial. Über den mehr oder weniger sparsamen Verbrauch dieser Materialien soll die Betriebsstatistik Aufschluss geben. **166.** Materialverbrauch.

An Schmieröl werden meist mehrere Sorten benötigt, die dann auch getrennt zu verbuchen sind. Zur Förderung der Sparsamkeit im Ölverbrauch und zu dessen besserer Kontrolle wird der in Fässern oder Tanks aufbewahrte Ölvorrat unter Verschluss gehalten, und nur der jedesmalige Tagesbedarf in kleineren Kannen zur Ausgabe gebracht. Diese Kannen dienen als Mass für den Ölverbrauch, und die sich ergebende Differenz zwischen angeliefertem und ausgegebenem Quantum muss ähnlich wie beim Kohlenverbrauch monatlich ausgeglichen werden.

Da das Abtropföl nach erfolgter Reinigung als Zusatz zu frischem Maschinenöl wiederverwertbar ist, so muss auch das aus den Ölreinigern nach dem Öllager zurückgelangende Quantum als Eingang verbucht werden, jedoch getrennt von dem eingegangenen frischen Öl, da die Kosten grundverschieden sind.

Der nach ausgegebenen Kannen bestimmte Ölverbrauch der Maschinen giebt die beste Handhabe für die Beurteilung der aufmerksamen Betriebsführung seitens des Bedienungspersonals. Der tatsächliche Ölverbrauch, d. i. die Differenz zwischen dem Bestand am Anfang der Betriebsperiode zuzüglich des während der Betriebsperiode angelieferten Quantums und dem Bestand am Ende der Betriebsperiode, wobei auch das gereinigte Öl entsprechend zu berücksichtigen ist, dient zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Betriebsführung und wird daher zweckmässig in Geldeswert ausgedrückt.

In ähnlicher Weise wird mit dem Putzmaterial verfahren. Dasselbe ist ebenfalls in nicht zu grossen Mengen an die Arbeiter auszugeben und, falls es nach erfolgter Reinigung wieder zur Verwendung gelangt, als neuer Eingang zu verbuchen. Die Kosten für den Putzmaterialverbrauch ergeben sich aus

dem tatsächlichen Abgang an Putzmaterial zuzüglich der Reinigungskosten für das zur Wiederverwendung gelangende Quantum.

Der durch die Wiederverwendung des gereinigten Materials konstruierte Unterschied in tatsächlichem und scheinbarem Materialverbrauch wird auch statistisch getrennt verwertet. Soll die Betriebsführung beleuchtet werden, so sind die an das Bedienungspersonal abgegebenen Quantitäten an Öl und Putzmaterial einschliesslich des wieder zur Verwendung gelangten auf die Maschinenbetriebsstunde zu beziehen. Da eine Maschine auch geschmiert und geputzt werden muss, wenn sie unbelastet läuft, so hat hier die Gegenüberstellung der tatsächlichen Leistung der Maschine zum Materialverbrauch keinen grossen Zweck.

Handelt es sich jedoch darum, die Selbstkosten der Stromerzeugung zu behandeln, oder um sonstige Fragen wirtschaftlicher Natur, so werden die ermittelten Kosten des Materialverbrauches einschliesslich der Kosten für die Reinigung desselben in die Rechnung eingeführt und können dann sehr wohl auf die Einheit der erzeugten Energie bezogen werden.

Die entsprechenden Entwürfe der Monatsstatistik für die Beurteilung des Materialverbrauches sind in den Tabellen XX, XXI und XXII gegeben, für welche nur noch erläuternd zu bemerken ist, dass es sich empfiehlt, auch den Materialverbrauch auf das Leistungsvermögen zu beziehen, d. i. das Produkt aus Maschinenbetriebsstunden und nomineller Leistungsfähigkeit, welche Zahl die Tabelle XVIII angiebt.

Da eine jede Art von Antriebsmaschinen mit sinkender Belastung unvorteilhafter arbeitet, so ist Gewicht darauf zu legen, dass diese Verhältnisse auch durch die Betriebsstatistik nachgewiesen werden. Sehr einfach lässt sich ein solcher Nachweis auf graphischem Wege führen, wie Fig. 158 zeigt. Als Abscissen sind die Tagesstunden aufgetragen und als Ordinaten die Momentanleistungen aller Maschinen. In diese Kurve wird die nominelle Leistungsfähigkeit jeder einzelnen in Betrieb befindlichen Maschine durch horizontale Linien eingetragen, deren Länge durch die Betriebszeit gegeben ist. Auf diese Weise entstehen Rechtecke, welche bei einem gut geführten Betriebe nur wenig über die Belastungskurve hinausgehen sollen.

Ausser dem Nachweis, ob das An- und Abstellen der Maschinen rechtzeitig erfolgt ist, giebt diese Kurve noch Aufschluss über die erforderliche Anzahl an Bedienungspersonal sowie über den geeignetsten Zeitpunkt des Schichtwechsels in derselben Weise, wie dieses beim Kesselbetrieb, S. 332, bereits näher erläutert worden ist.

Von Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Betriebsführung ist die Höhe des Vakuums bei einer Dampfmaschine mit Kondensation, weshalb es sich empfiehlt, wenigstens stündlich den Stand des Instrumentes abzulesen und zu notieren. Bei Verwendung überhitzten Dampfes ist der Verlauf der Dampftemperatur beim Eintritt in den Hochdruckzylinder zu notieren. Ebenso kann die Angabe des Hubzählers am Anfang und Ende jeder Betriebsperiode zur Beurteilung des Ganges und der Leistung der Maschine beobachtet und notiert werden. Eine statistische Verwertung der Angaben dieser und der übrigen Instrumente wie Manometer und Tachometer erscheint überflüssig, weshalb diese Instrumente im allgemeinen nur kontrolliert zu werden brauchen.

167. Energielieferung.

Das Endprodukt einer jeden Centralstation bildet die elektrische Energie. Es sind also auch eingehende Aufzeichnungen über die abgegebene Menge sowie über den Verbleib derselben zu bewirken.

Zunächst wird die Leistung jeder Maschine durch Ablesungen an den Instrumenten der Maschinenschalttafel bestimmt, und zwar getrennt nach dem Verwendungszweck. Derselbe zerfällt:

1. in die Stromlieferung für das allgemeine Verteilungsnetz für Licht und Kraft,
2. in solche für Bahnzweeke und
3. zum Laden von Akkumulatoren.

Sind Maschinen noch für andere Specialzwecke vorhanden, wie z. B. für Bogenlichtserienstromkreise, für Umformer oder dergleichen, so werden natürlich auch hierfür getrennte Aufschreibungen vorgenommen.

Am zweckmässigsten werden diese verschiedenen Daten in getrennte Betriebsbücher eingetragen. In grösseren Werken empfiehlt es sich sogar für jede Kategorie zwei Betriebsbücher zu benutzen, z. B. das eine für die geraden und das andere für die ungeraden Tage, damit für die Übertragung und Weiterverarbeitung des Zahlenmaterials hinreichende Zeit verfügbar ist.

Die Aufzeichnung der Maschinenleistung wird in viertelstündlichen Intervallen bewirkt, damit die daraus zu berechnenden Kilowattstunden möglichst exakt ausfallen.

Die Summierung der Momentanleistungen besorgt zwar ein Elektrizitätszähler in einfacherer Weise mindestens mit derselben Genauigkeit, es wird jedoch durch die viertelstündlichen Aufschreibungen die Gewähr gegeben, dass die Anlage unter steter Kontrolle ist und das Zu- und Abschalten der Maschinen rechtzeitig bewirkt wird. Nur da, wo diese Bedenken weniger Bedeutung haben, ist es zulässig, von den viertelstündlichen Aufschreibungen Abstand zu nehmen und sich lediglich auf die Zählerangaben zu beschränken, wie dieses z. B. bei der Entladung eines Akkumulators oder bei kleinen Werken mit sehr beschränkter Belastung zutrifft.

In Unterstationen wird ausser der abgeführten Energie auch die empfangene notiert. Das Verhältnis beider ergiebt den Wirkungsgrad der Umformeranlage, und die Differenz den Effektverlust. In derselben Weise ermittelt sich der Energieverlust in der Akkumulatorenbatterie. Die Bildung des Verhältnisses von ausgegebener zu empfangener Energie kann auf monatliche Perioden beschränkt werden.

Der im praktischen Betrieb ermittelte Energieverlust im Akkumulator gestattet, eine genaue Berechnung vorzunehmen, wann es vorteilhafter ist, den Maschinenbetrieb einzustellen und die Stromlieferung aus dem Akkumulator zu decken.[1])

Ein Entwurf für die statistische Verarbeitung der Daten, welche sich auf die elektrische Energie beziehen, ist in den Tabellen XIII, XV, XVI und XVII gegeben. Die Tabelle XV giebt über den Verlauf der Monatsmaxima Aufschluss. Es wird hierbei unterschieden zwischen einem Maximum des Licht- und Kraftbetriebes und einem solchen des Bahnbetriebes.

Der Unterschied gegen die gleiche Periode des Vorjahres, ausgedrückt in Prozenten, zeigt, wie die Entwickelung des Unternehmens fortgeschritten ist.

Die weiteren Rubriken mit dem Verhältnis des Maximums zum Anschlusswert sollen Aufschluss über die mehr oder weniger intensive Benutzung der Anschlusswerte geben, wobei auch das in Tabelle XVI aufgeführte Verhältnis der erzeugten Kilowattstunden zum Stationsmaximum von grosser Bedeutung ist.

1) Vgl. Hdb. VII, 1. S. 91 u. 169.

In Tabelle XVI sind die Werte berücksichtigt, welche sich auf die Energielieferung beziehen. Die erzeugte Energie ist durch die Horizontalreihen eingeteilt in solche für Licht- und Kraftbetrieb, für Bahnbetrieb und für die Ladung von Akkumulatoren. Die letzte Horizontalreihe mit dem Verhältnis der effektiven Leistung zum Leistungsvermögen gibt die mittlere Belastung der Betriebsmittel in Prozenten an.

In Tabelle XVII sind noch alle Daten, welche sich auf die Akkumulatorenanlage beziehen, zusammengestellt.

168. Unkosten. In Tabelle XXIII sind die gesamten Unkosten des Werkes in gedrängter Form zusammengestellt und verarbeitet. Ist dieses Endergebnis befriedigend ausgefallen, indem sich die Erzeugung und Verteilung der elektrischen Energie billiger oder wenigstens nicht teurer stellt, als bei Werken, die unter ähnlichen Verhältnissen arbeiten, so beweist dieses fast ausnahmslos, dass der Betrieb gut geleitet worden ist. Aber trotz eines befriedigenden Ergebnisses soll man in seinem Bemühen nicht nachlassen, überall bessernd einzuwirken, denn bei jedem geschäftlichen Unternehmen bedeutet Stillstand Rückschritt.

Über die Tabelle selbst ist erläuternd nichts Wesentliches zu sagen, nur ist darauf zu achten, dass auch alle Unkosten Berücksichtigung finden und nichts übersehen wird.

c) Betriebsdaten des Leitungsnetzes.

169. Belastungsverhältnisse des Netzes. Von der Station wird der elektrische Strom durch Leitungen den Verwendungsstellen zugeführt. Diese Leitungen sind jedoch normalerweise nur für eine gewisse Menge aufnahmefähig. Eine Überlastung derselben kann sogar erhebliche Störungen im Gefolge haben. Aus diesem Grunde sind die durch die Leitungen fortgeführten Ströme möglichst während der Zeit der höchsten Belastung zu messen. Die ermittelte Belastung wird zweckmässig graphisch aufgetragen. Ausserdem kann für die Verwertung in Tabellen die Belastung in Prozenten der für die Leitungen maximal zulässigen ausgedrückt werden.

Hat man auf diese Weise einen Überblick über die Strombelastung jeder einzelnen, aus der Station fortführenden Leitung gewonnen, so dass man in der Lage ist, notwendige Verstärkungen rechtzeitig zu projektieren und zur Ausführung zu bringen, so ist noch eine Kontrolle darüber vorzunehmen, ob auch die normale Spannung stets in allen Teilen des Netzes herrscht. Hierzu dienen die Spannungsmessungen, welche mit Hilfe der von jedem Speisepunkt zur Station zurückführenden Prüfdrähte in einfacher und schneller Weise in der Station selbst ausgeführt werden können.

Bei Mehrleiternetzen sind naturgemäss auch die Einzelspannungen zu kontrollieren. Ergeben sich durch die Messungen Netzteile mit zu geringer Spannung, so sind entweder die betreffenden Speiseleitungen zu verstärken oder durch Zufügung neuer zu entlasten, oder die Unterschiede sind durch eine Zusatzspannung auszugleichen.

Sind die Einzelspannungen ungleich befunden, so ist durch entsprechende Umschaltung von Anschlussobjekten für den erforderlichen Ausgleich Sorge zu tragen. An welchen Stellen die Umschaltungen vorzunehmen sind, ergiebt sich aus der durch die Strommessungen ermittelten ungleichen Stromverteilung.

Über die Anschlussbewegungen sind aus dem Grunde möglichst genaue Aufzeichnungen zu machen, weil sich aus der Grösse der Anschlusswerte der Strombedarf ermitteln lässt, und von dem Strombedarf wiederum die erforderliche Leistungsfähigkeit der Betriebsmittel abhängt. 170. Anschlüsse.

Die statistisch zu verwertenden Zahlen über die Anschlussbewegung werden den Abnahmeprotokollen über die bewirkten Anschlüsse entnommen und summiert. Damit diese Aufzeichnungen in Übereinstimmung mit der Wirklichkeit bleiben, sind alle Erweiterungen und Verminderungen der Anschlussanlagen ebenfalls zu berücksichtigen.

Zweckmässig werden geführt: Die Anzahl der Hausanschlüsse und der Konsumenten sowie der Elektrizitätszähler und die Anzahl der angeschlossenen Glühlampen, Bogenlampen, Motoren und Apparate. Ferner der Anschlusswert der installierten Objekte in Kilowatt.

Der Zuwachs an Anschlusswerten innerhalb eines jeden Monats ist zum Ausdruck zu bringen, und diese Zahlen sind in Vergleich zu den Ergebnissen derselben Zeitperiode des Vorjahres zu setzen. Ebenso wird der Stand der Anschlüsse, wie derselbe sich für jeden Monatsschluss ergiebt, laufend geführt.

In welcher Weise die im vorhergehenden beschriebenen täglich gesammelten Zahlenwerte monatlich zusammengefasst und statistisch verwertet werden, zeigen die Tabellen IX bis XII, denen nur wenig Worte zum besseren Verständnis zuzufügen sind.

Sehr viele Werke haben keinen einheitlichen Tarif, sondern geben für besondere Zwecke den Strom zu Vorzugspreisen ab. Ein gewissenhafter Betriebsleiter wird sich aber Klarheit darüber verschaffen wollen, ob und wieviel Überschuss die verschiedenen Kategorien von Konsumenten ergeben. Eine solche Berechnung wird aber wesentlich erleichtert, wenn in der Statistik bereits eine nach Tarifen getrennte Aufzeichnung über die Anschlüsse vorgenommen ist, wie es der vorliegende Entwurf in den Tabellen IX bis XIV aufweist.

d) Statistischer Jahresbericht.

Am Jahresschluss ist das Ergebnis der verflossenen zwölf Monate zusammenzufassen, und zwar in derselben Weise, wie für den einzelnen Monat. Es können also hierzu dieselben Tabellen Verwendung finden.

Sehr förderlich ist es, wenn in einem den Tabellen beigegebenen Erläuterungsbericht die einzelnen Ergebnisse des Betriebes beleuchtet, und die Gründe für die Abweichungen angeführt werden. Eventuell schliessen sich hieran Vorschläge, wie etwaige ungünstige Ergebnisse zu kompensieren sind.

Ist das Ergebnis des verflossenen Jahres in erschöpfender Weise beleuchtet, so ist ein Ausblick auf das kommende Geschäftsjahr auf Grund des bisherigen Entwickelungsganges am Platze, wobei in erster Linie die zu erwartenden Einnahmen den voraussichtlichen Ausgaben gegenübergestellt werden.

Sollten die Betriebsmittel bis zur Grenze ihrer Leistungsfähigkeit bereits im abgelaufenen Jahre in Anspruch genommen worden sein, und Erweiterungen derselben notwendig werden, so ist der erforderliche Geldbedarf an Hand eines aufgestellten Erweiterungsprojektes und der eingeforderten Offerten möglichst genau anzugeben.

Vielfach wird die Zeit zu knapp sein, um nach Ablauf des Geschäftsjahres, namentlich sofern dieses nicht mit dem Kalenderjahre zusammenfällt,

alle die zeitraubenden Vorarbeiten für die Vergrösserung des Werkes und die Ausführung selbst bis zum nächsten Maximum rechtzeitig zu bewirken. In solchen Fällen ist an der Hand des statistischen Zahlenmaterials das zu erwartende Maximum im voraus zu ermitteln und danach das Erweiterungsprojekt aufzustellen. Bei grösseren Werken sollten die Vorausberechnungen auf einen Zeitraum von mindestens ein bis zwei Jahren regelmässig gemacht werden.

Bei allen Vorausberechnungen des Stromkonsums empfiehlt es sich von den Anschlusswerten auszugehen, und es soll im folgenden eine derartige Rechnung, trotzdem sie äusserst einfach ist, durchgeführt werden. Es sei das Dezembermaximum, welches achtzehn Monate später eintreten wird, vorauszuberechnen. Der gegenwärtige Anschlusswert beträgt 2840 KW, wovon maximal gleichzeitig 36 $^0/_0$ benutzt werden, so dass diesem Anschlusswert ein Stationsmaximum von 1020 KW entspricht.

Der jährliche Zuwachs an Anschlüssen wurde in den letzten Jahren im Durchschnitt zu 22 $^0/_0$ festgestellt. Daraus berechnet sich die voraussichtliche Grösse des Anschlusses nach 18 Monaten zu $1·33 \times 2840 = 3779$ KW, dem ein Stationsmaximum von $0·36 \times 3777 = 1380$ KW entspricht. Die Betriebsmittel müssen demnach so verstärkt werden, dass sie den Mehrbedarf von 360 KW zu decken vermögen.

Umgekehrt lässt sich auch aus der Kapazität der Betriebsmittel der an das Werk zulässige Anschluss berechnen. Es seien vorhanden zwei Maschinen von je 500 KW Leistungsfähigkeit und zwei von je 250 KW. Ausserdem befinde sich im Werk eine Akkumulatorenbatterie von 250 KW. Von diesen Betriebsmitteln möge die Batterie als Reserve dienen, so dass während des Stationsmaximums normalerweise 1500 KW verfügbar sind. Beträgt der Prozentsatz der maximal gleichzeitig benutzten Anschlusswerte wiederum 36 $^0/_0$, so dürfen an das Werk $\frac{1500}{0·36} = 4167$ KW angeschlossen werden.

Dieses gilt natürlich nur unter der Voraussetzung, dass auch das Leitungsnetz für die Fortleitung von 1500 KW dimensioniert ist.

Auch alle andern statistisch verwerteten Angaben lassen sich ebenso einfach vorausberechnen. So werden z. B. die zu erwartenden Mehreinnahmen mit Hilfe der in Tabelle XIV geführten Angaben über Benutzungsdauer der Anschlüsse sehr leicht ausgerechnet, sofern der Zuwachs an Anschlüssen nach den verschiedenen Tarifen getrennt vorausbestimmt war. Auch die Mehrausgaben sind an Hand der Tabelle XXIII leicht festzustellen, wobei jedoch die jährlich registrierte Verbilligung der Stromproduktion zu berücksichtigen ist. Es lässt sich also für die Erweiterung der Betriebsmittel eine genaue Rentabilitätsrechnung durchführen.

Die vorliegenden Tabellen sind zwar, soweit sie sich auf den Stationsbetrieb beziehen, für Dampfkraftanlagen zugeschnitten, es dürfte jedoch nicht schwer fallen, an der Hand dieser Tabellen beim Vorhandensein anderer Antriebsmaschinen die erforderlichen Änderungen ohne viele Mühe vorzunehmen.

Statistische Übersicht

über die Betriebsergebnisse des Elektrizitätswerkes ....
im Monat .... 19.........

Tabelle IX.

Umfang der Anschlüsse am Ende des Monats.

Gegenstand	Nach dem Normaltarif			Nach Spezialtarifen		
	Anzahl	Kilowatt	Motoren-leistung PS	Anzahl	Kilowatt	Motoren-leistung PS
Hausanschlüsse		—	—		—	—
Konsumenten		—	—		—	—
Elektrizitätszähler . . .		—	—		—	—
Glühlampen			—			—
Bogenlampen			—			—
Motoren						
Apparate			—			—
Summa				—		
Unterschied gegen das Vorjahr in %				—		

Tabelle X.

Zuwachs an Anschlüssen.

Gegenstand	Nach dem Normaltarif			Nach Spezialtarifen		
	Anzahl	Kilowatt	Motoren-leistung PS	Anzahl	Kilowatt	Motoren-leistung PS
Hausanschlüsse		—	—		—	—
Konsumenten		—	—		—	—
Elektrizitätszähler . . .		—	—		—	—
Glühlampen			—			—
Bogenlampen			—			—
Motoren						
Apparate			—			—
Summa	—			—		
Unterschied gegen das Vorjahr in %	—			—		

Tabelle XI.

Abgang an Anschlüssen.

Gegenstand	Nach dem Normaltarif			Nach Spezialtarifen		
	Anzahl	Kilowatt	Motorenleistung PS	Anzahl	Kilowatt	Motorenleistung PS
Hausanschlüsse		—	—		—	—
Konsumenten		—	—		—	—
Elektrizitätszähler . . .		—	—		—	—
Glühlampen			—			—
Bogenlampen			—			—
Motoren						
Apparate			—			—
Summa	—			—		
Unterschied gegen das Vorjahr in %	—			—		

Tabelle XII.

Unerledigte Anmeldungen.

Gegenstand	Nach dem Normaltarif			Nach Spezialtarifen		
	Anzahl	Kilowatt	Motorenleistung PS	Anzahl	Kilowatt	Motorenleistung PS
Hausanschlüsse			—		—	—
Konsumenten		—	—		—	—
Elektrizitätszähler . . .		—	—		—	—
Glühlampen			—			—
Bogenlampen			—			—
Motoren						
Apparate			—			—
Summa	—			—		
Unterschied gegen das Vorjahr in %	—			—		

Tabelle XIII.

Nutzbar abgesetzte Energie.

		Kilowatt-stunden	Unterschied gegen das Vorjahr in %	Strom-einnahmen M.	Einheits-preis pro KW Std. Pf.	Zählermiete M.
Nach dem Normaltarif . .	für Licht					
	für Kraft					
Nach Spezialtarifen . .	für Licht					
	für Kraft					
	für Bahn					
Selbstverbrauch						
Summa						

Tabelle XIV.

Benutzungsdauer der Anschlüsse.

	Nach dem Normaltarif		Nach Spezialtarifen		
	für Licht Std.	für Kraft Std.	für Licht Std.	für Kraft Std.	für Bahn Std.
Bezogen auf die Anschlusswerte . .					
Bezogen auf das Stationsmaximum					
Unterschied gegen das Vorjahr in %					

Tabelle XV.

Stationsmaximum.

	Kilowatt	Unterschied gegen das Vorjahr in %	Monatsmaximum Anschlusswert	Letztes Jahresmaximum in KW	Jahresmaximum Anschlusswert
Licht- und Kraftbetrieb					
Bahnbetrieb					
Summa					

Tabelle XVI.

Leistung der Betriebsmittel.

	Dampfkessel			Dampfmaschinen		Energielieferung		Verhältnis von	
	Summe der Kessel-Betriebsstunden	Summe der Heizerstunden	Erzeugte Dampfmenge kg	Summe der Maschinen-Betriebsstunden	Summe der Arbeiterstunden	Erzeugte KWStd	Nutzbar abgegebene KWStd	nutzbar abgegebenen KWStd zu erzeugten KWStd	erzeugten KWStd zu Stations-Maximum
Licht- und Kraftbetrieb .									
Bahnbetrieb									
Ladung der Akkumulatoren									
Summa									
Unterschied gegen das Vorjahr in %									
Belastungsgrad $= \frac{\text{Leistung}}{\text{Leistungsvermögen}}$									

Tabelle XVII.

Akkumulatoren-Inanspruchnahme.

	Amperestunden	Kilowattstunden	Unterschied gegen das Vorjahr in %
Ladung			
Entladung			
Differenz			
Wirkungsgrad $= \frac{\text{Entladung}}{\text{Ladung}}$.			

Tabelle XVIII.

Leistungsvermögen der in Dienst gestellten Betriebsmittel.

	Dampfkessel Summa der qm Rostfläche mal Betriebsstunden	Dynamos Summa von Leistungsfähigkeit mal Betriebsstunden	Akkumulatoren Kapazität mal Betriebstage
Licht und Kraft .			
Bahnbetrieb . . .			
Summa			
Unterschied gegen das Vorjahr in %			

Tabelle XIX. Kohlenverbrauch.

	Zum Anheizen kg	Zum Betrieb kg	Verbrauch total kg	Betrag in M.	Aschen- und Schlackengehalt in %	Mittlerer Heizwert Kal.	Pro qm Rostfläche und Stunde kg	Pro erzeugte Kilowattstunde kg	Pro nutzbar abges. Kilowattstunde kg	Pro kg erzeugten Dampf kg
Licht- und Kraftbetrieb										
Bahnbetrieb										
Summa										
Unterschied gegen das Vorjahr in %										

Tabelle XX.

Putzmaterialverbrauch.

	Für Betriebsmaschinen kg	Für Hilfsmaschinen kg	Total kg	Betrag M.	Für die Einheit des Leistungsvermögens der in Dienst gestellten Betriebsmittel pro Std. kg
Licht- und Kraftbetrieb .					
Bahnbetrieb					
Summa					
Unterschied gegen das Vorjahr in %					

Tabelle XXI.

Zylinderölverbrauch.

	Für Betriebsmaschinen kg	Für Hilfsmaschinen kg	Total kg	Betrag M.	Für d. Einheit des Leistungsvermögens der in Dienst gest. Betriebsmittel pro Std. kg	Flammpunkt ° C.
Licht- und Kraftbetrieb .						
Bahnbetrieb						
Summa						
Unterschied gegen das Vorjahr in %						

Tabelle XXII.

Maschinenölverbrauch.

	Für Betriebsmaschinen kg	Für Hilfsmaschinen kg	Total kg	Betrag M.	Für d. Einheit des Leistungsvermögens der in Dienst gest. Betriebsmittel pro Std. kg	Flammpunkt ° C.
Licht- und Kraftbetrieb .						
Bahnbetrieb						
Summa						
Unterschied gegen das Vorjahr in %						

Tabelle XXIII.

Gesamt-Unkosten.

	Gegenstand	Betrag M.	Pro 1000 erzeugte KWStd M.	Pro 1000 nutzbar abgesetzte KWStd M.	Unterschied gegen das Vorjahr in %
Feststehende Unkosten	Amortisation				
	Verzinsung				
	Bureauunkosten				
	Steuern				
	Versicherungen				
	Mieten				
	Gehälter				
	Selbstverbrauch an Strom				
Variable Unkosten	Löhne				
	Invaliden-, Kranken- und Unfallversicherung				
	Brennmaterial				
	Zylinderöl				
	Maschinenöl				
	Putzmaterial				
	Soda und Kalk				
	Akkumulatoren - Nachfüllflüssigkeit				
	Reparaturen				
	Diverses				
Betrieb des Leitungsnetzes					
In Summa					

Sachregister.

(Die Zahlen bedeuten die Seiten.)